

การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหลวในกระบวนการบรรจุ
สำหรับอุตสาหกรรมสินค้าเครื่องอุปโภคบริโภค

WEIGHT-DEVIATION REDUCTION OF LIQUID PRODUCTS IN
THE PACKAGING PROCESS FOR CONSUMER PRODUCTS INDUSTRY

มนัสวี ตูลาดร
MANASSAWEE TULADHORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISSN 974-15-2623-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวในกระบวนการบรรจุ
สำหรับอุตสาหกรรมสินค้าเครื่องอุปโภคบริโภค

WEIGHT-DEVIATION REDUCTION OF LIQUID PRODUCTS IN
THE PACKAGING PROCESS FOR CONSUMER PRODUCTS INDUSTRY



มนัสวี ตูลาธร

MANASSAWEE TULADHORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61642
วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2623-7

**WEIGHT-DEVIATION REDUCTION OF LIQUID PRODUCTS IN
THE PACKAGING PROCESS FOR CONSUMER PRODUCTS INDUSTRY**

MANASSAWEE TULADHORN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2623-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ชนิดเหลว
ในกระบวนการบรรจุสำหรับอุตสาหกรรมสินค้าเครื่อง
อุปโภคบริโภค

นักศึกษา

นางสาวมนัสวี ตุลาธร

รหัสนักศึกษา

45061191

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ

บทคัดย่อ

ปัญหาส่วนใหญ่ของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวเกิดจากความเบี่ยงเบนของน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ขณะบรรจุจากน้ำหนักขอบเขตควบคุม ทำให้เกิดความสูญเสียในลักษณะงานรีเวิร์คจากการบรรจุน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง และความสูญเสียจากการบรรจุน้ำหนักรผลิตภัณฑ์เกินน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนหรือ giveaway ในงานนี้ศึกษาการบรรจุน้ำยาล้างจานด้วยเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติที่มี 36 หัวบรรจุ และการบรรจุครีมอาบน้ำด้วยเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติที่มี 8 หัวบรรจุ และใช้หลักการซิกซ์ซิกม่าและโปรแกรมมินิแทปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวที่บรรจุ

กรณีน้ำยาล้างจานพบว่าการทำงานของโหลดเซลล์ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ หลังการดำเนินงานสามารถลดการสูญเสีย น้ำยาล้างจานได้ประมาณ 53.4 ตัน/ปี คิดเป็นเงิน 379,370 บาท/ปี

สำหรับครีมอาบน้ำพบว่าการปรับสเกลภายในกระบอกสูบของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ (x_1) เพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ (x_2) มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักรผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ (y) จากโปรแกรมมินิแทปสามารถสร้างแบบจำลองการถดถอย คือ $y = -497 + 1.64 x_1 - 0.791 x_2$ จากผลการดำเนินงานสามารถลดการสูญเสียครีมอาบน้ำได้ประมาณ 7.1 ตัน/ปี คิดเป็นเงิน 227,840 บาท/ปี

Thesis Title	Weight-deviation Reduction of Liquid Products in the Packaging Process for Consumer Products Industry
Student	Miss Manassawee Tuladhorn
Student ID.	45061191
Degree	Master of Engineering
Programme	Chemical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum
Thesis Co-advisor	Assoc.Prof.Dr. Gobboon Lothongkum

ABSTRACT

Typical problem in any packaging process for liquid products is weight deviation of product from lower and upper specification limits resulting in losses in terms of rework and giveaway due to weight deviation of product from the lower and upper specification limits, respectively. In this case study, a filling of dish-washing liquid by an automatic gravity filling machine with 36 filling nozzles, and that of liquid soap by a semi-automatic pressure-piston filling machine with 8 filling nozzles were studied. Six sigma and the Minitab program were used to analyze the significant factors on weight deviation of liquid products.

In case of the dish-washing liquid, load cells of the gravity filling machine are significant on weight deviation of product. After the rectifications of load cells, the dish-washing liquid of 53.4 tons/year about 379,370 baht/year was saved.

For the liquid soap, the adjustment of a scale in a piston of the pressure-piston filling machine (x_1) to set a packing volume, and percentage of aeration in liquid soap (x_2) relate closely to weight of liquid soap (y). From the regression analysis of the Minitab program, the correlation, $y = -497 + 1.64 x_1 - 0.791 x_2$ was achieved. Liquid soap of 7.1 tons/year about 227,840 baht/year was saved.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ดร. วิวรรณ กฤษญาสิมะ รองประธานกรรมการบริหารฝ่ายผลิต นาวาเอกพิชเชนทร์ ดันประเสริฐ ผู้อำนวยการฝ่ายผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยที่โรงงาน คุณชวลิต สุทธาโรจน์ ผู้จัดการควบคุมการผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคล ชนิดเหลว คุณสุรเชษฐ์ จันทร์ ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาการผลิต คุณมนตรี ไยยะผลสุข ผู้จัดการสนับสนุนฝ่ายบรรจุกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว คุณทวีป คุ่มภักดี และคุณประสาน กมลวิจิตร หัวหน้างานฝ่ายวิศวกรรม คุณเจตน์พรรัตน์ สมผิว ช่างเทคนิค คุณสามารถ กันดวง พนักงานฝ่ายควบคุมระบบเอกสาร ISO และ TPM และพนักงานฝ่ายวิศวกรรม และฝ่ายบรรจุทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และความร่วมมือที่ดีตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล รศ.ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล โครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชน ศูนย์เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีอนาคต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนเงินวิจัยบางส่วน และเงินสำหรับการนำเสนอผลงานในต่างประเทศ

ความเห็นในวิทยานิพนธ์นี้เป็นของผู้ดำเนินโครงการงาน หน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและไม่ต้องรับผิดชอบต่อความเห็นที่เสนอนั้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา และแนวคิดในการแก้ปัญหา ตลอดจนโอกาสและประสบการณ์ชีวิตในการทำงานและการนำเสนอผลงานวิจัย รศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวอันเป็นที่รัก ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องตลอดมา

มนัสวี คุณาธร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
ศัพท์เทคนิค.....	XVI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	6
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	7
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	7
บทที่ 2 กระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 โครงสร้างของหน่วยผลิตผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือน และเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว.....	8
2.2 กระบวนการผลิตน้ำยาล้างจาน.....	10
2.3 กระบวนการผลิตครีมอาบน้ำ.....	10
2.4 ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลว.....	11
2.4.1 การบรรจุระบบสุญญากาศ.....	12
2.4.2 การบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง.....	13
2.4.3 การบรรจุระบบความดัน.....	13
2.4.4 การบรรจุระบบกระบอกสูบ.....	14
2.4.5 การบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ.....	15
2.4.6 การบรรจุระบบการตวงและการวัดโดยใช้ปั๊มวัด.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ.....	16
2.6 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ.....	19
บทที่ 3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3.1 การบริหารคุณภาพ.....	21
3.2 การทำให้เป็นมาตรฐาน.....	22
3.2.1 มาตรฐานทางเทคนิค.....	22
3.2.2 มาตรฐานการทำงาน.....	22
3.2.3 คู่มือการปฏิบัติงาน.....	22
3.3 ระบบซิกซ์ซิกม่า.....	22
3.3.1 การกำหนดและนิยามปัญหา.....	27
3.3.2 การวัดผล.....	27
3.3.3 การวิเคราะห์ผล.....	28
3.3.4 การปรับปรุง.....	28
3.3.5 การควบคุม.....	28
3.4 การวิเคราะห์ปัญหา.....	28
3.4.1 แผนภาพกระบวนการ.....	29
3.4.2 แผนภูมิพาเรโต.....	29
3.4.3 แผนภาพสาเหตุและผล.....	30
3.4.4 Why - Why analysis.....	31
3.4.5 การวิเคราะห์อาการข้อขัดข้องและผลกระทบ.....	32
3.5 หลักการพื้นฐานและขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	33
3.6 การประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป.....	36
3.6.1 การทดสอบสมมติฐาน.....	36
3.6.2 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง.....	38
3.6.3 การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	43
3.6.5 การวิเคราะห์การถดถอย.....	47
3.7 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	53
3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61
บทที่ 4 การดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล.....	65
4.1 ศึกษาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุน้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ.....	65
4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน ขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร.....	68
4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ ขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร.....	80
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	108
5.1 การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ.....	108
5.2 การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ.....	109
5.3 แผนควบคุมกระบวนการ.....	110
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก.....	115
ภาคผนวก ก. การคำนวณความดันที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการไหลของน้ำยาล้างจาน ภายในท่อทรงกระบอก.....	116
ภาคผนวก ข. ตารางการกระจายแบบ F.....	119
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลองการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน ขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร.....	125
ภาคผนวก ง. บทเรียนเฉพาะจุด.....	129

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดลองการลดความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ ขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร.....	132
ภาคผนวก ฉ. การปรับปรุงเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ.....	137
ภาคผนวก ช. การคำนวณเงินที่ได้จากการลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์.....	142
ภาคผนวก ซ. แผนควบคุมกระบวนการ.....	143
ประวัติผู้เขียน.....	146

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา..... 9
3.1	โอกาสของการพบข้อบกพร่องของระบบอุดมคติที่ระดับซิกม่าต่างๆ..... 25
3.2	โอกาสของการพบข้อบกพร่องของกระบวนการที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติ และคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุดมคติ ± 1.5 เท่าของซิกม่า ที่ระดับซิกม่าต่างๆ..... 27
3.3	ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว..... 43
3.4	ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว..... 47
3.5	ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณ..... 48
3.6	ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอย..... 53
3.7	ความแปรผันของพนักงานต่อผลของการวัดขนาดผลิตภัณฑ์..... 57
4.1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า..... 70
4.2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน..... 72
4.3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในน้ำยาล้างจาน..... 74
4.4	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมที่น้ำหนักขอบเขตควบคุมต่างๆ..... 75
4.5	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุซึ่งชั่งด้วยโพลด์เซลล์ภายในกระบวนการบรรจุ และเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ..... 78
4.6	ลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้และ คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ..... 82
4.7	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้า กระบวนการที่ควบคุมได้ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ..... 84
4.8	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของ พนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป..... 87
4.9	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะ ด้วยโปรแกรมมินิแทป..... 90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบด้วยตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัย ที่มี 2 ระดับ 92
4.11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากทั้ง 8 หัวบรรจุ 94
4.12	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ ด้วยตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัย ที่มี 2 ระดับ 96
4.13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจากทั้ง 8 หัวบรรจุ 102
4.14	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยของความสัมพันธ์ของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ 105
5.1	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน 108
5.2	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักครีมอาบน้ำ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน 109
ก.1	ตัวแปรของกฎกำลังสำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส 117
ข.1	ตารางการกระจายแบบ F 120
ค.1	การสุ่มซังน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า 125
ค.2	การสุ่มวัดความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานในแบบเดียวกันและต่างแบบ 126
ค.3	การสุ่มวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานในแบบเดียวกันและต่างแบบ 126
ค.4	น้ำหนักน้ำยาล้างจานที่สุ่มจากหัวบรรจุต่างๆ และซังด้วยโพลดเซลล์ 127
ค.5	น้ำหนักน้ำยาล้างจานที่สุ่มจากหัวบรรจุต่างๆ และซังด้วยเครื่องซังน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ 128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1	บทเรียนเฉพาะจุดเกี่ยวกับการสอบเทียบ โหลดเซลล์ที่เครื่องบรรจุระบบแรง โนมัลว่งแบบอัตโนมัติ..... 129
ง.2	บทเรียนเฉพาะจุดเกี่ยวกับขั้นตอนการวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์..... 131
จ.1	น้ำหนักครีมอาบน้ำที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ภายนอกกระบวนการบรรจุโดยพนักงานประจำเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ..... 132
จ.2	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำที่วัด โดยพนักงานประจำเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ..... 132
จ.3	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากเบชเดียวกันและต่างเบช..... 133
จ.4	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากเบชเดียวกันจาก 8 หัวบรรจุ..... 133
จ.5	ผลของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างเบชต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 1 134
จ.6	น้ำหนักครีมอาบน้ำจาก 8 หัวบรรจุ..... 135
จ.7	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 8 กับระดับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ..... 136
ฉ.1	การวิเคราะห์จุดที่กระบวนการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์และมาตรการแก้ไข..... 138
ฉ.2	ขนาดของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และลูกสูบภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุต่างๆ..... 140
ฉ.3	ระยะภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และระยะชักภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุต่างๆ..... 140
ช.1	ตัวอย่างแผนควบคุมปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการและตัวแปรตอบสนอง..... 144
ช.2	ตัวอย่างแผนการตรวจสอบและการบำรุงรักษากระบวนการ..... 145

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การสูญเสียผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือนชนิดเหลว..... 2
1.2	การสูญเสียผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว..... 3
1.3	ปริมาณการผลิตน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุต่างๆ ที่สายการบรรจุ C2..... 3
1.4	ตัวอย่างแสดงความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ C2..... 4
1.5	ตัวอย่างแสดงความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ F2..... 5
2.1	กระบวนการผสมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว ของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา..... 9
2.2	ขั้นตอนการผสมน้ำยาล้างจาน..... 10
2.3	ขั้นตอนการผสมครีมอาบน้ำ..... 11
2.4	การบรรจุระบบสุญญากาศ..... 12
2.5	เครื่องบรรจุระบบสุญญากาศ..... 12
2.6	การบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง..... 13
2.7	การบรรจุระบบความดัน..... 13
2.8	เครื่องบรรจุระบบความดัน..... 14
2.9	เครื่องบรรจุระบบกระบอกสูบ..... 14
2.10	การบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ..... 15
2.11	เครื่องบรรจุระบบการตวงและการวัด โดยใช้ปั๊มวัด..... 16
2.12	เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ..... 16
2.13	วัฏจักรของการบรรจุของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ..... 17
2.14	เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ..... 19
3.1	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร..... 24
3.2	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความสามารถของกระบวนการที่กลุ่มประชากร กระจายตัวแบบปกติที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างกัน..... 24
3.3	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความสามารถของกระบวนการแบบระบบอุดมคติ ที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติที่ระดับ ± 3 ซิกม่า และ ± 6 ซิกม่า..... 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.4	แผนภูมิฮิสโตแกรมของกระบวนการที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติ และคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุดมคติ ± 1.5 เท่าของซิกม่า เนื่องจากการรบกวนของปัจจัยภายนอก.....	26
3.5	ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระบวนการ.....	29
3.6	ตัวอย่างของแผนภูมิพาเรโตแสดงความถี่ที่พบข้อบกพร่องในกระบวนการ.....	30
3.7	โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผล.....	31
3.8	วิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Why-Why analysis.....	31
3.9	แผนภาพแสดงปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ.....	34
3.10	ตัวอย่างกราฟ normal probability plot ของส่วนตกค้างแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ.....	38
3.11	ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ.....	39
3.12	ตัวอย่างแผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง แสดงความเป็นอิสระของข้อมูล.....	39
3.13	ตัวอย่างแผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างกับค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง แสดงความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมีเสถียรภาพ.....	41
3.14	ตัวอย่างแผนภาพ test for equal variance ที่ข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ.....	41
3.15	แผนภาพกล่องแสดงผลของระดับของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนอง.....	42
3.16	ตัวอย่างการประมวลผลปัจจัยเดียวที่มี 3 และ 4 ระดับ ด้วยวิธี 2-sample t test.....	44
3.17	แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง.....	49
3.18	ไบอัสของระบบการวัด.....	55
3.19	ความเสถียรของระบบการวัด.....	56
3.20	คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด.....	56
3.21	การวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ถูกสุ่มมาจากกระบวนการผลิตด้วยพนักงาน 3 คน.....	57
3.22	ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง components of variation แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นในระบบการวัด.....	58
3.23	ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม R แสดงความสามารถของระบบการวัด ในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24	ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม X-bar แสดงความแปรผันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เทียบกับความแปรผันของกระบวนการผลิต..... 59
3.25	ตัวอย่างแผนภาพ measurement by products แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ในการทดลอง..... 60
3.26	ตัวอย่างแผนภาพ measurement by operators แสดงความแปรผันของพนักงาน ต่อแนวโน้มการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์..... 60
3.27	ตัวอย่างแผนภาพ operators and products interaction แสดงความมีอิทธิพลร่วมระหว่าง พนักงานและผลิตภัณฑ์..... 60
4.1	แผนภาพกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์..... 65
4.2	ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุน้ำยาล้างจานที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง แบบอัตโนมัติที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์..... 66
4.3	ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุครีมอาบน้ำที่เครื่องบรรจุระบบความดัน และกระบอกสูบที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์..... 67
4.4	แผนภาพสาเหตุและผลของความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน ขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร..... 68
4.5	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า..... 69
4.6	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน..... 71
4.7	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน..... 73
4.8	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่หัวบรรจุต่างๆ ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 77
4.9	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 79
4.10	การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้ง ของการบรรจุน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุ ระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	แผนภาพสาเหตุและผลของความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ ขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร 81
4.12	แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่างๆ ตามลำดับตัวเลข แสดงลำดับของความเสี่ยง 83
4.13	การประมวลผลความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของ พนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป 86
4.14	การประมวลผลความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะ ด้วยโปรแกรมมินิแทป 89
4.15	แผนภาพกล่องแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำจากต่างเบช 92
4.16	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแต่ละหัวบรรจุ 93
4.17	แผนภาพกล่องแสดงความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำจากเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ทั้ง 8 หัวบรรจุ 94
4.18	แผนภาพกล่องแสดงผลของความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำจากต่างเบชต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ 95
4.19	กราฟ normal probability plot ของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจาก 8 หัวบรรจุ 97
4.20	แผนภาพ test for equal variance แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของน้ำหนัก ครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุ 100
4.21	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ น้ำหนักครีมอาบน้ำจากทั้ง 8 หัวบรรจุ 101
4.22	แผนภาพกล่องแสดงความแปรปรวนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจาก 8 หัวบรรจุ 101
4.23	เกจแสดงน้ำหนักครีมอาบน้ำที่เครื่องบรรจุ 102
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับระดับสเกลภายในกระบอกสูบ เพื่อกำหนดปริมาตรการผลิต 103
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ ในครีมอาบน้ำ 104

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26	การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักริมอบน้ำที่บรรจุกับการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตร การบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอบน้ำ..... 104
4.27	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักริมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 106
4.28	การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และ โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้ง ของการบรรจุน้ำหนักริมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบความดัน และกระบอกสูบ ก่อนและหลังการดำเนินงาน..... 107
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของน้ำยาล้างจาน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส..... 116
ฉ.1	เส้นทางการไหลของครีมอบน้ำจากถังจ่ายผลิตภัณฑ์ไปยังกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ และหัวบรรจุตามลำดับ..... 137
ฉ.2	สปริง อุปกรณ์ภายในชุดเช็ควาล์วและการทดสอบการรั่วของชุดเช็ควาล์ว..... 139

ศัพท์เทคนิค

การแยกชัด	Resolution
การวิเคราะห์ความแปรปรวน	Analysis of Variance (ANOVA)
การวิเคราะห์ระบบการวัด	Measurement System Analysis (MSA)
การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน	Giveaway
ขั้นของความอิสระภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน	Degree of freedom for error (U2)
ขั้นของความอิสระระหว่างกลุ่มข้อมูล	Degree of freedom for treatment (U1)
ขั้นตอนการดำเนินงานตามแนวทางซิกซ์ซิกม่า	DMAIC (define, measure, analyze, improve, control phases)
ขั้นหรือองศาของความอิสระ	Degree of freedom (DF)
ความคลาดเคลื่อนอนุ โลม	Tolerance
ความแตกต่างระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน	Bias
ความเบี่ยงเบน	Deviation (a specific value from the mean value)
ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Deviation (SD)
ความแปรปรวน	Variance (a variability of the sampling distribution)
ความแปรผัน	Variation (a difference between individual within a population or among population; a difference from a norm or standard value; or a difference from standard deviation)
ความแปรผันของระบบการวัดเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุ โลมของข้อกำหนดเฉพาะ	Precision-to-Tolerance Ratio (P/T)
ความแปรผันของระบบการวัดเทียบกับความแปรผันของกระบวนการ	Precision-to-Total Variation (P/TV)
ความเสถียร	Stability
ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	Mean square (MS)
ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน	Mean square for error (MS _E)

ศัพท์เทคนิค (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างกลุ่มข้อมูล	Mean square for treatment ($MS_{\text{Treatments}}$)
คุณสมบัติเชิงเส้นตรง	Linearity
ตัวถดถอย	Regressor
น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน	Upper Specification Limit (USL)
น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง	Lower Specification Limit (LSL)
ประชากร	Population
ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ	Key Parameter Input Variable (KPIV)
ปัจจัยป้อนออกกระบวนการ	Key Parameter Output Variable (KPOV)
ผลรวมกำลังสอง	Sum of square (SS)
ผลรวมกำลังสองของข้อมูลทั้งหมด	Sum of square for total (SS_T)
ผลรวมกำลังสองภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน	Sum of square for error (SS_E)
ผลรวมกำลังสองระหว่างกลุ่มข้อมูล	Sum of square for treatment ($SS_{\text{Treatments}}$)
ระดับนัยสำคัญ	Significant level (α)
ระบบซิกซ์ซิกม่า	Six sigma
วิธีกำลังสองน้อยสุด	Least square method
สถิติทดสอบ	Test statistic (F_o)
สมมติฐาน	Hypothesis
โอกาสของการพบข้อบกพร่องในหนึ่งล้านครั้ง ของการผลิตหรือการปฏิบัติงาน	Defect Per Million Opportunity (DPMO)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา [1]

การวางกลยุทธ์ทางธุรกิจที่มุ่งเน้นไปสู่ความเป็นผู้นำและความเป็นเลิศในธุรกิจ จะต้องมีความตระหนักที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนเชิงรุกและการแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เป็นบริษัทร่วมทุนอังกฤษ-เนเธอร์แลนด์ มีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาศักยภาพในกระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอ เป้าหมายที่บริษัทให้ความสำคัญในลำดับต้น คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์และต้นทุนการผลิต โดยมุ่งเน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามความพึงพอใจของลูกค้า (customer satisfaction) ด้วยต้นทุนที่สมเหตุผล บริษัทมีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ ณ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ และกรุงรอตเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์ ก่อตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2472 กลุ่มยูนิลีเวอร์มีกิจการอยู่ใน 75 ประเทศทั่วโลก และมีบริษัทในเครือมากกว่า 500 บริษัท

ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอกบริส ผงซักฟอกโอโม น้ำยาปรับผ้านุ่มคอมฟอร์ท น้ำยาและครีมล้างจานซัลโลด์ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว และสบู่ไลฟบอย
2. กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล เช่น แชมพูและครีมนวดผมต่างๆ ได้แก่ ชันซิล โดฟ ออร์แกนิกส์ และคลินิก ครีมนวดน้ำตักส์ สบู่หอมลิกส์ สบู่วาสลินฮาร์โมนี ยาสีฟันไกลซ์ซิด ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวต่างๆ ได้แก่ ฟอนด์ส ซิตร้า วาสลิน และเฮสตีนิ น้ำหอมระงับกลิ่นกายเรโซนา และแอ็กซ์
3. กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม เช่น ไอศกรีมวอลล์ ชาลิปตัน ผลิตภัณฑ์คานอร์ และผงปรุงรสตราสหพิษ

นับว่าเป็นบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคที่ใหญ่แห่งหนึ่งของโลก นอกจากนี้ กลุ่มบริษัทยูนิลีเวอร์ยังผลิตสินค้าประเภทอื่นๆ เช่น เคมีภัณฑ์ กระดาษ พลาสติก และอาหารสัตว์

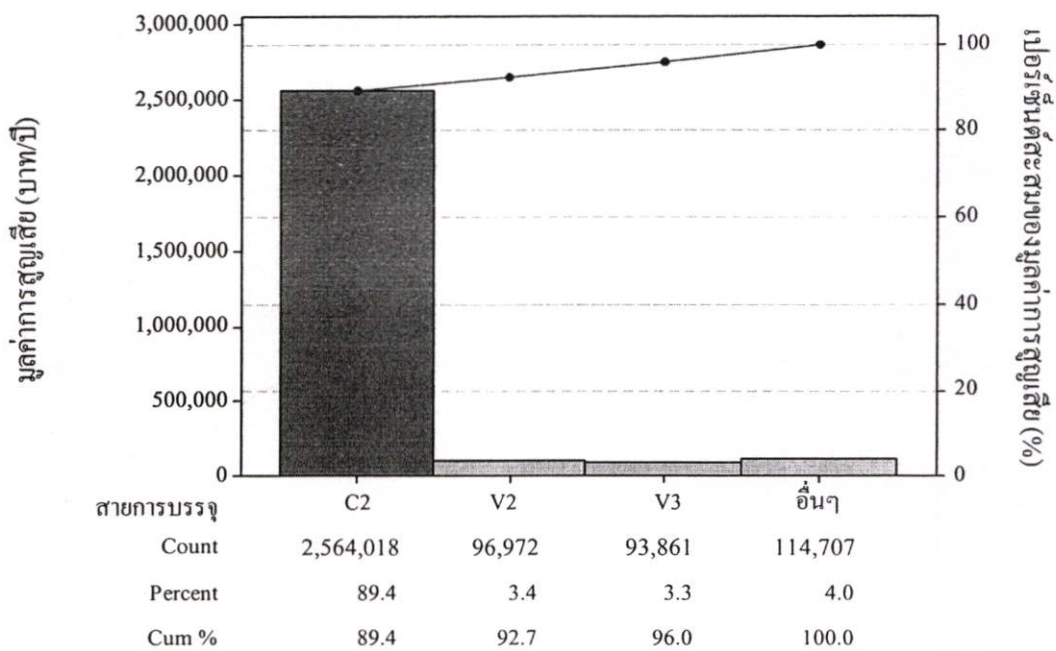
ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวและส่งผลกระทบต่อในเชิงธุรกิจ คือ การบรรจุน้ำหนักผลิตภัณฑ์ไม่อยู่ในน้ำหนักขอบเขตควบคุม (control limit) ถ้าน้ำหนักที่บรรจุต่ำกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง (Lower Specification Limit: LSL) ของผลิตภัณฑ์ บริษัทจะต้องนำผลิตภัณฑ์นั้นกลับไปบรรจุใหม่และกลายเป็นงานรีเวิร์ค แต่ถ้า น้ำหนักที่บรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน (Upper Specification Limit: USL) ของผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน หรือเรียกว่า giveaway ดังนั้นเพื่อลด

ความเสี่ยงต่อการบรรจุน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่างและต้องทำงานรีเวิร์คบริษัทจึงใช้น้ำหนักมาตรฐาน (standard weight) ตามกำหนดของผลิตภัณฑ์เป็นน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง และน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนเดิมเป็นค่าน้ำหนักมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ หรือค่ากลางของน้ำหนักขอบเขตควบคุมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุมากกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนเดิมและเกิด giveaway และยังถ้ามีความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดความสูญเสียมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการลดและควบคุมไม่ให้เกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ชนิดเหลว

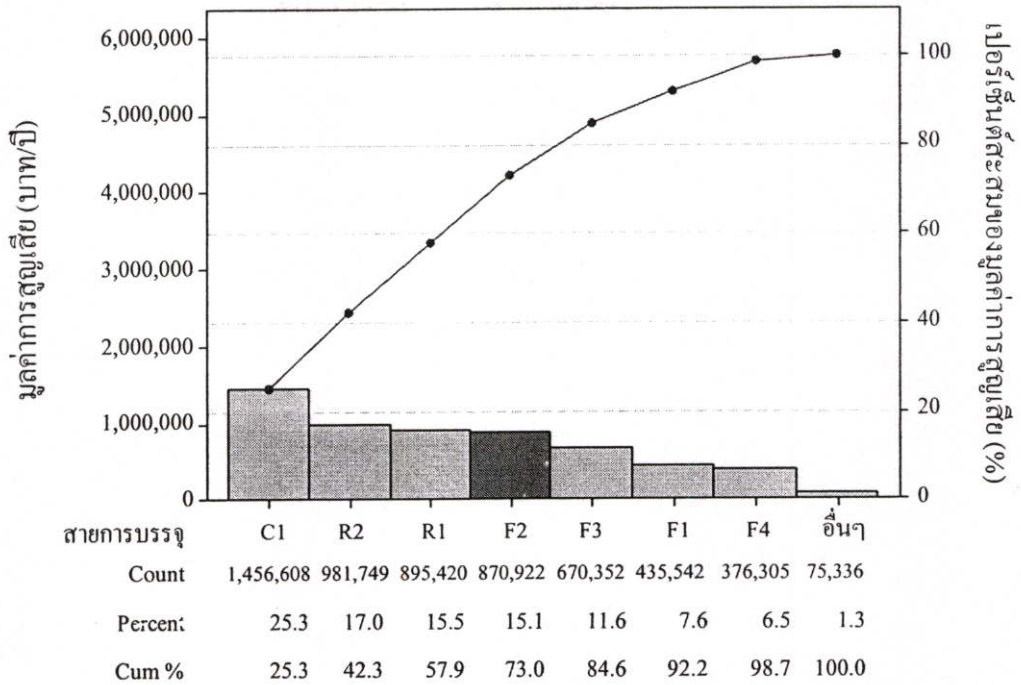
สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ชนิดเหลวของบริษัทประกอบด้วย

1. สายการบรรจุผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือนชนิดเหลว ได้แก่ สายการบรรจุ C2, V's (5 สาย คือ V1, V2, V3, V4 และ V5) และ M1
2. สายการบรรจุผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว ได้แก่ สายการบรรจุ C1, F's (4 สาย คือ F1, F2, F3 และ F4), N1, P1, P2, R1, และ R2

ข้อมูลการสูญเสียผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนชนิดเหลวและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวที่สายการบรรจุต่างๆ จากการบรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน แสดงดังรูปที่ 1.1 และ 1.2

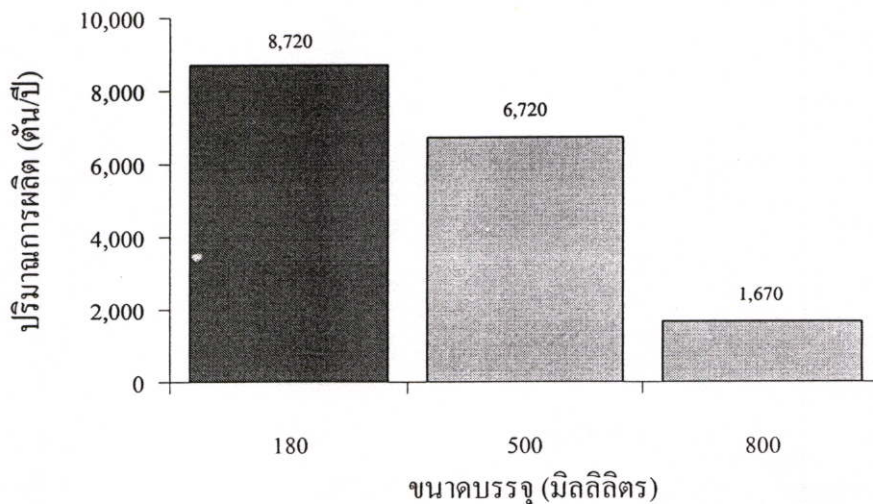


รูปที่ 1.1 การสูญเสียผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือนชนิดเหลว [1]



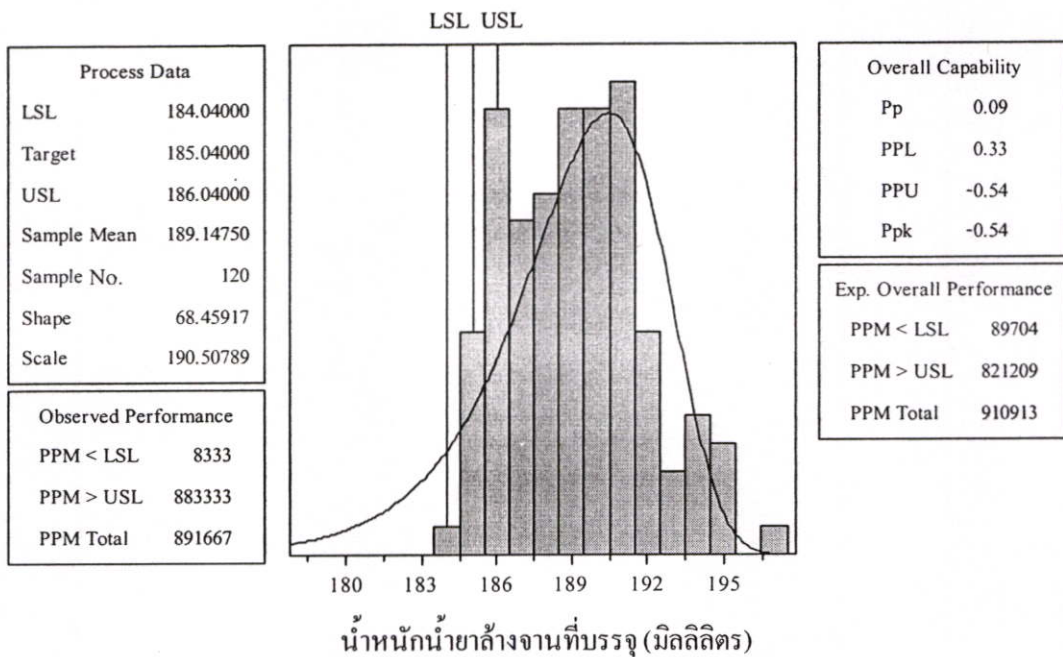
รูปที่ 1.2 การสูญเสียผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว [1]

จากรูปที่ 1.1 พบว่าสายการบรรจุ C2 เกิดการสูญเสียมากที่สุด คือ ประมาณ 360 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 2,564,018 บาท/ปี จึงเลือกสายการบรรจุ C2 เป็นสายการบรรจุต้นแบบที่จะศึกษา สายการบรรจุนี้ใช้เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ คือ น้ำยาล้างจาน ขนาดผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมาก คือ 180 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 1.3 เพราะเป็นขนาดที่นิยมของผู้บริโภค ดังนั้นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนชนิดเหลวเป้าหมายที่จะศึกษา คือ น้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่อัตราการบรรจุ 400 บรรจุภัณฑ์/นาที



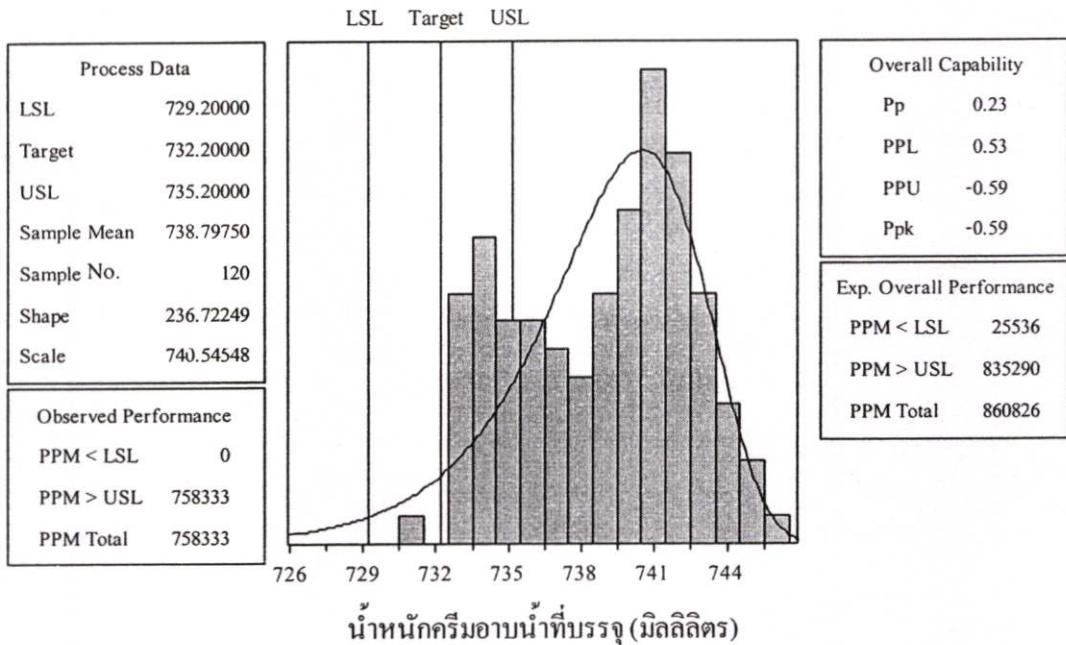
รูปที่ 1.3 ปริมาณการผลิตน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุต่างๆ ที่สายการบรรจุ C2 [1]

สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว เนื่องจากเครื่องบรรจุของสายการบรรจุ C1, R1 และ R2 เป็นเครื่องบรรจุแบบระบบอัตโนมัติเช่นเดียวกับเครื่องบรรจุน้ำยาล้างจานของสายการบรรจุ C2 จึงจะเลือกศึกษาเครื่องบรรจุที่เป็นแบบระบบกึ่งอัตโนมัติของสายการบรรจุ F's, N1, P1 และ P2 เพราะเครื่องบรรจุที่เป็นแบบระบบกึ่งอัตโนมัติสามารถปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้สะดวกกว่าเครื่องบรรจุแบบระบบอัตโนมัติ และจากรูปที่ 1.2 พบว่ามีการสูญเสียผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวที่สายการบรรจุ F2 สูง ประมาณ 30 ตัน/ปี มูลค่า 870,922 บาท/ปี จึงเลือกสายการบรรจุ F2 ที่ใช้เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติเป็นสายการบรรจุต้นแบบที่จะศึกษา และเลือกผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวเป้าหมายคือ ครีมอาบน้ำ ขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่อัตราการบรรจุ 30 บรรจุภัณฑ์/นาที เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่บรรจุในสายการบรรจุนี้ ซึ่งมีการสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนประมาณ 11 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 350,720 บาท/ปี จากการสูญเสียผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวทั้งหมด ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ C2 และครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ F2 แสดงดังรูปที่ 1.4 และ 1.5



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างแสดงความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ C2

จากรูปที่ 1.4 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของน้ำยาล้างจานเท่ากับ 185.04 กรัม น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่างเท่ากับ 184.04 กรัม และค่าขีดจำกัดบนเท่ากับ 186.04 กรัม พบว่าส่วนใหญ่มีการบรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน และเมื่อคำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่ได้ตามมาตรฐานที่เกิดขึ้นต่อการบรรจุ 1,000,000 ครั้ง (Defect Per Million Opportunity: DPMO) มีค่าเท่ากับ 910,913 ppm (part per million) นั่นคือในการบรรจุ 1,000,000 ครั้ง โอกาสของการพบผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่ได้ตามมาตรฐานเท่ากับ 910,913 ครั้ง



รูปที่ 1.5 ตัวอย่างแสดงความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ F2

จากรูปที่ 1.5 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของครีมอาบน้ำเท่ากับ 732.20 กรัม น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่างเท่ากับ 729.20 กรัม และค่าขีดจำกัดบนเท่ากับ 735.20 กรัม พบว่าส่วนใหญ่มีการบรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน และเมื่อคำนวณจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่ได้ตามมาตรฐานที่เกิดขึ้นต่อการบรรจุ 1,000,000 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 860,826 ppm

1.2 วัตถุประสงค์

ลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำในกระบวนการบรรจุ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ประยุกต์ขั้นตอนการดำเนินงานตามหลักการของซิกซ์ซิกม่า (six sigma) และแนวความคิดปรับปรุงคุณภาพในการลดความแปรผัน (variation) ของกระบวนการผลิตแบบระยะยาวโดยเน้นที่การปรับปรุงแบบพลิกโฉมหน้า (breakthrough) ซึ่งต้องค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาที่ซ่อนเร้นในกระบวนการผลิต (hidden problems) โดยใช้แผนภูมิพาเรโต (pareto diagram) แผนภาพสาเหตุและผล หรือผังก้างปลา (cause and effect diagram หรือ fish bone diagram) และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) [2] และทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยการผลิตต่างๆ (factor) ที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (response variable) ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ ความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab program) [3-9] โดยใช้หลักการทางสถิติ ได้แก่ การทดสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ (2-sample t test) [3-4] การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) [3-9] และการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) หรือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) ของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองกับตัวแปรตอบสนอง [3-6] และดำเนินการแก้ไขอย่างเป็นระบบ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ปัจจัยการผลิตต่างๆ คือ บุคลากร (man) วัตถุดิบ (material) เครื่องจักร (machine) วิธีการปฏิบัติงาน (method) และระบบการวัด (measurement) ที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ ได้แก่ แผนภูมิพาเรโต แผนภาพสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ตรวจสอบที่มาของความแปรผันของปัจจัยดังกล่าว ศึกษาแนวทางการออกแบบการทดลอง [3, 7] เพื่อวางแผนการเก็บข้อมูลของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ และทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่มีนัยสำคัญนั้นด้วยโปรแกรมมินิแทปเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเนื่องจากปัจจัยที่มีต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องบรรจุ เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย คือ การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์การถดถอย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษากระบวนการบรรจุน้ำยาล้างจานด้วยเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง และกระบวนการบรรจุครีมอาบน้ำด้วยเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ศึกษาแนวทางในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์หาปัจจัยในกระบวนการบรรจุที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำด้วยโปรแกรมมินิแทป และแก้ไขสาเหตุของปัญหาเนื่องจากปัจจัยนั้นๆ เพื่อลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำที่บรรจุ โดยพิจารณาจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ
- 1.6.2 ศึกษากระบวนการบรรจุและเครื่องบรรจุแบบต่างๆ
- 1.6.3 วิเคราะห์และระบุปัญหาเพื่อกำหนดเป้าหมายที่ต้องการศึกษา
- 1.6.4 ศึกษาระบบซิกซ์ซิกม่า และหลักการทางสถิติ
- 1.6.5 วิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยกับปัญหาโดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ ได้แก่ แผนภูมิพาเรโต แผนภาพสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ
- 1.6.6 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามแนวทางการออกแบบการทดลอง และทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำด้วยโปรแกรมมินิแทป
- 1.6.7 ดำเนินการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำจากปัจจัยที่มีนัยสำคัญ
- 1.6.8 สรุปและประเมินผลหลังการดำเนินงาน
- 1.6.9 จัดทำรายงาน

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.7.1 ลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำที่บรรจุ
- 1.7.2 สามารถควบคุมน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในน้ำหนักขอบเขตควบคุม
- 1.7.3 ได้รูปแบบเพื่อประยุกต์กับสายการบรรจุอื่น
- 1.7.4 ผู้วิจัยเกิดทักษะในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 2

กระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของหน่วยผลิตผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว [1]

หน่วยผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลว ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

2.1.1 คลังเก็บวัตถุดิบ (warehouse) ทำหน้าที่เก็บและจ่ายวัตถุดิบให้กับกระบวนการผสม (mixing process) และเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูปเพื่อรอการจำหน่ายออกสู่ตลาด

2.1.2 กระบวนการผสม ที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบบกึ่งอัตโนมัติ แบ่งเป็น 4 หน่วยย่อย ดังรูปที่ 2.1

2.1.2.1 หน่วยเก็บวัตถุดิบ ทำหน้าที่เก็บวัตถุดิบและจ่ายวัตถุดิบให้กับหน่วยชั่งน้ำหนัก

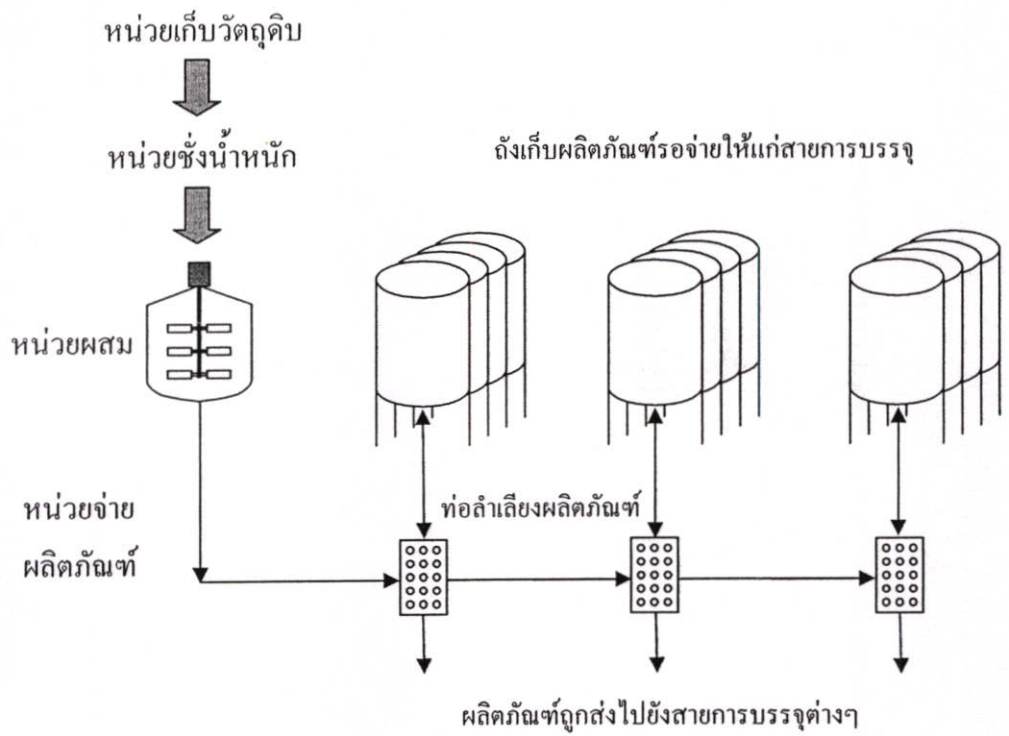
2.1.2.2 หน่วยชั่งน้ำหนัก (pre-weight station) ทำหน้าที่ชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบเพื่อส่งต่อไปให้หน่วยผสม

2.1.2.3 หน่วยผสม (mixing station) ทำหน้าที่ผสมผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย ถังผสมหลัก (main mixer) ถังผสมรอง (side mixer) และหน่วยสนับสนุน เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.1.2.4 หน่วยจ่ายผลิตภัณฑ์ (flow plate station) ทำหน้าที่จ่ายผลิตภัณฑ์เข้าถังเก็บเพื่อรอจ่ายให้แก่สายการบรรจุต่างๆ

2.1.3 กระบวนการบรรจุ (packaging process) ทำหน้าที่บรรจุผลิตภัณฑ์ลงบรรจุภัณฑ์

สายการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษามี 17 สายการบรรจุ ดังตารางที่ 2.1



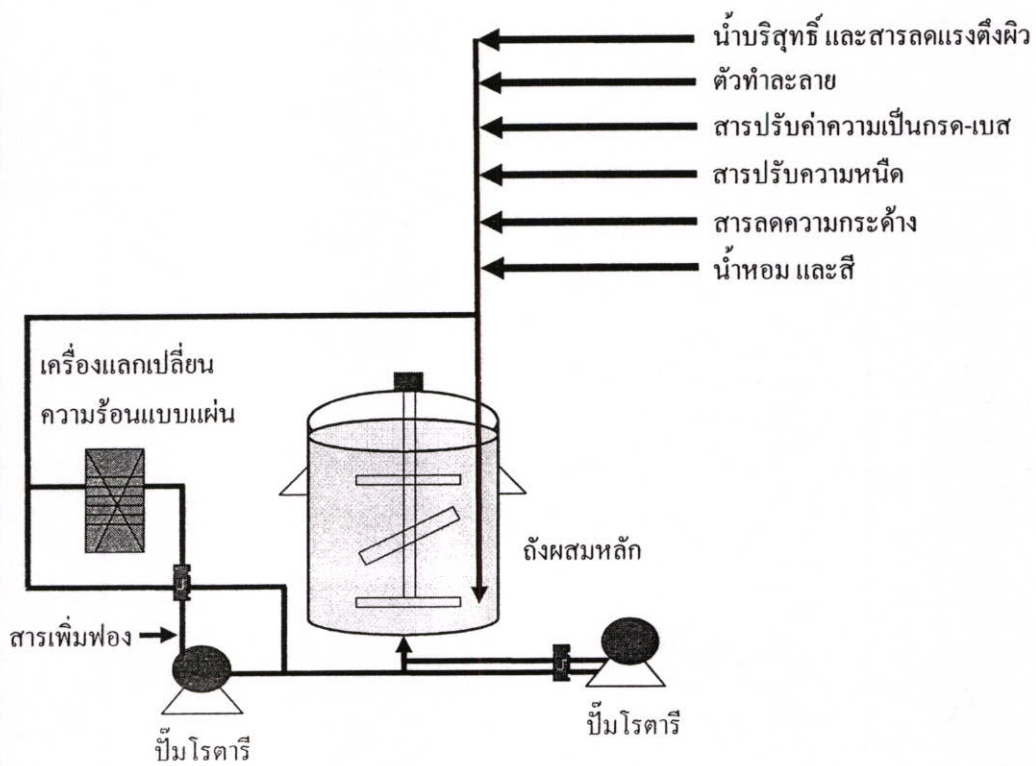
รูปที่ 2.1 กระบวนการผสมผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือนและเครื่องใช้ส่วนบุคคลชนิดเหลวของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา [1]

ตารางที่ 2.1 สายการบรรจุผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา [1]

สายการบรรจุ	ประเภทของเครื่องบรรจุ	ระบบการทำงาน	ความหนืดของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม/(เมตร-วินาที))	ลักษณะของบรรจุภัณฑ์
C1	ระบบการตวงและการวัดโดย mass flowmeter	อัตโนมัติ	2.0-6.0	ขวด
C2	ระบบแรงโน้มถ่วง	อัตโนมัติ	0.8-1.2	ขวด
F1-4	ระบบความดันและกระบอกสูบ	กึ่งอัตโนมัติ	1.5-6.0	ขวด
M1	ระบบการตวงและการวัดโดย mass flowmeter	กึ่งอัตโนมัติ	0.8-1.2	แกลลอน
N1	ระบบการตวงและการวัดโดย mass flowmeter	กึ่งอัตโนมัติ	3.5-13.0	หลอด
P1-2	ระบบกระบอกสูบ	กึ่งอัตโนมัติ	2.0-6.0	ขวด
R1-2	ระบบการตวงและการวัดโดย mass flowmeter	อัตโนมัติ	2.0-6.0	ขวด
VI-5	ระบบการตวงและการวัดโดย magnetic flowmeter	อัตโนมัติ	0.45-1.0	ซอง

2.2 กระบวนการผลิตน้ำยาล้างจาน [1, 10]

ขั้นตอนอย่างง่ายในการผสมน้ำยาล้างจานของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.2 ส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ น้ำบริสุทธิ์ สารลดแรงตึงผิวหรือสารชำระล้าง ตัวทำละลาย จะถูกผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมสารปรับสภาพของน้ำยาล้างจาน เช่น สารปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ให้อยู่ระหว่าง 5.5-7.7 และสารปรับความหนืดให้มีค่าระหว่าง 0.8-1.2 กิโลกรัม/(เมตร·วินาที) จากนั้นใส่สารเติมแต่ง ได้แก่ สารเพิ่มฟอง สารลดความกระด้าง น้ำหอม และสี และส่งไปยังเก็บเพื่อรอจ่ายให้กระบวนการบรรจุต่อไป

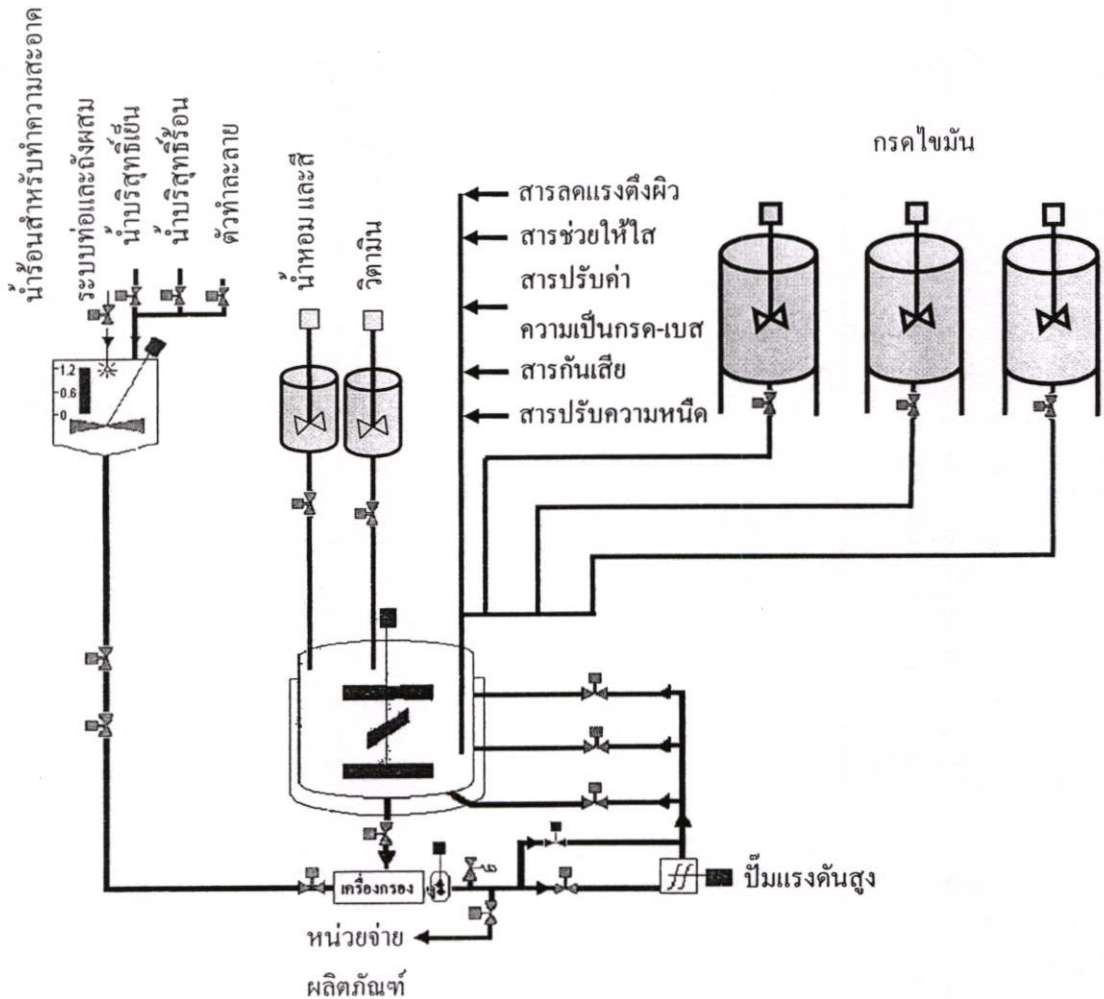


รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผสมน้ำยาล้างจาน [1]

2.3 กระบวนการผลิตครีมอาบน้ำ [1, 11]

ขั้นตอนอย่างง่ายในการผสมครีมอาบน้ำของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.3 เติมน้ำบริสุทธิ์ลงในถังผสมหลัก ให้ความร้อนจนกระทั่งได้อุณหภูมิตามค่าเป้าหมาย เติมนส่วนผสมต่างๆ เช่น ตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิว กรดไขมัน และสารช่วยให้ใส ลงในถังผสมหลัก กวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำปรับสภาพของครีมอาบน้ำ ได้แก่ สารปรับค่าความเป็นกรด-เบส ให้อยู่ระหว่าง 8.7-10.0 สารปรับค่าความหนืดให้มีค่าระหว่าง 1.5-3.5 กิโลกรัม/(เมตร·วินาที) ขึ้นอยู่กับ

ข้อกำหนดเฉพาะของครีมอาบน้ำแต่ละชนิด และสารกันเสีย แล้วจึงเติมสารเติมแต่ง ได้แก่ น้ำหอม สีส และวิตามิน และผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงส่งไปถึงเก็บเพื่อรอจ่ายให้กระบวนการบรรจุต่อไป



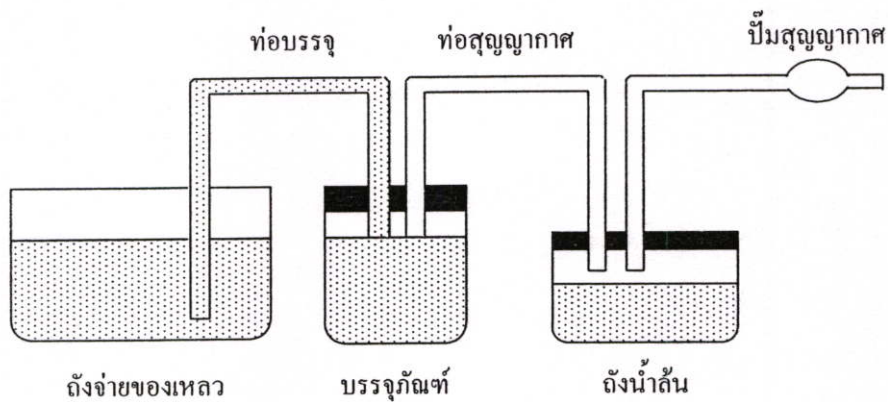
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผสมครีมอาบน้ำ [1]

2.4 ระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลว [12-16]

การบรรจุผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น แนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์จะรวมตัวกับอากาศซึ่งทำให้เกิดปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ ความตึงผิวของผลิตภัณฑ์ ความดันและอุณหภูมิที่ระบบการบรรจุ เพราะมีผลต่อการไหล ความหนืด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงจะต้องใช้ความดันช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไหลได้เร็ว ถ้าอุณหภูมิสูงความหนืดของผลิตภัณฑ์จะต่ำจึงไม่จำเป็นต้องใช้ความดันช่วยส่งแรงให้ผลิตภัณฑ์ไหล

ระบบการบรรจุของเหลว มีหลายระบบ ได้แก่

2.4.1 การบรรจุระบบสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.4 ใส่ปลายท่อบรรจุและท่อสุญญากาศระดับคอของบรรจุภัณฑ์แล้วผนึกให้สนิทด้วยวงแหวน ป้อนสุญญากาศจะดูดอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์ ทำให้ความดันของอากาศในถังจ่ายของเหลวสูงกว่าความดันในบรรจุภัณฑ์ ของเหลวในถังจ่ายของเหลวจะถูกดันด้วยแรงดันบรรยากาศเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเต็มของเหลวในบรรจุภัณฑ์ถึงระดับปลายท่อ ของเหลวที่อยู่เหนือระดับปลายท่อจะถูกดูดออกและไหลไปยังถังน้ำล้น ทำให้ของเหลวไม่สูงเกินกว่าระดับที่ต้องการบรรจุ สำหรับอากาศในบรรจุภัณฑ์จะถูกดูดผ่านปั๊มสุญญากาศและปล่อยทิ้งไป การบรรจุระบบนี้เหมาะสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ และสามารถไหลได้เอง รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของเครื่องบรรจุระบบสุญญากาศ

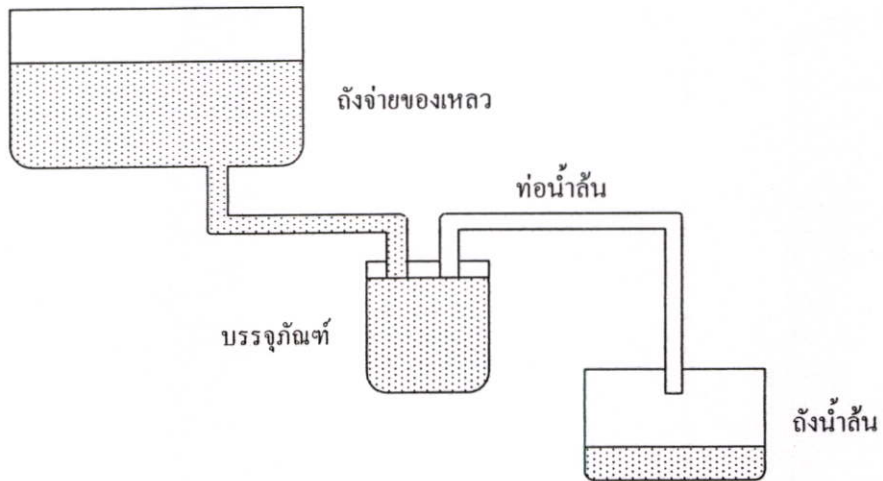


รูปที่ 2.4 การบรรจุระบบสุญญากาศ [12]



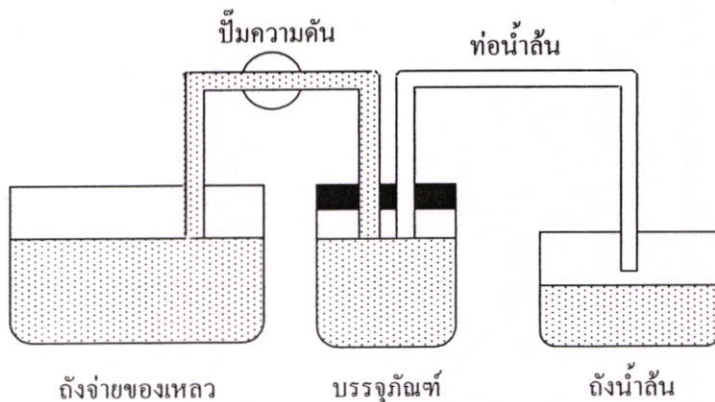
รูปที่ 2.5 เครื่องบรรจุระบบสุญญากาศ [13]

2.4.2 การบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง หัวบรรจุจะเป็นแบบที่มีสปริงกดและห่วงยาง เมื่อหัวบรรจุกดห่วงยางลงปากบรรจุภัณฑ์ด้วยสปริงจะเป็นจังหวะที่วาล์วเปิด ของเหลวจะไหลจากถังจ่ายที่ตั้งอยู่ตอนบนลงในบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 2.6 โดยระดับของของเหลวที่บรรจุลงบรรจุภัณฑ์ จะถูกกำหนดด้วยระดับของท่อน้ำล้น การบรรจุระบบนี้ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง เนื่องจากใช้ระบบแรงโน้มถ่วงของโลกและไม่มีปั๊มความดันช่วยส่งแรงให้ผลิตภัณฑ์ไหล รายละเอียดของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงจะอธิบายในหัวข้อ 2.5

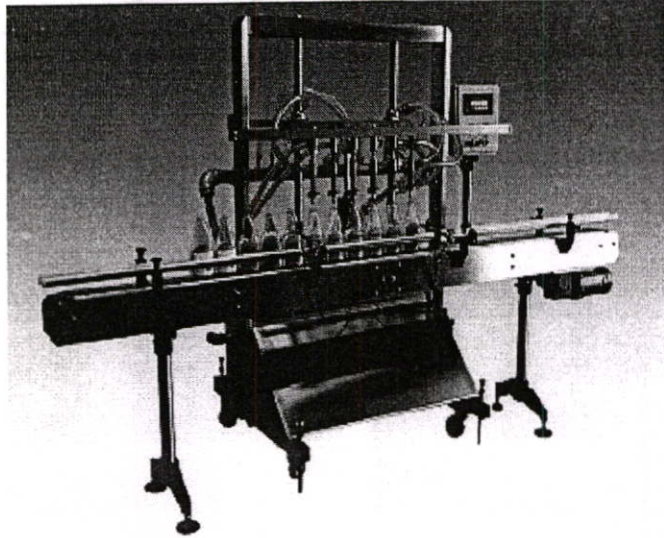


รูปที่ 2.6 การบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง [12]

2.4.3 การบรรจุระบบความดัน มีหลักการทำงานคล้ายกับการบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง แต่จะใช้ปั๊มความดันเป็นตัวส่งแรงให้ของเหลวเคลื่อนที่ วิธีการนี้จึงไม่จำเป็นต้องยกถังเก็บขึ้นสูง และเหมาะที่จะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง เมื่อหัวบรรจุกดห่วงยางลงปากบรรจุภัณฑ์ ด้วยสปริงจะเป็นจังหวะที่วาล์วเปิด ของเหลวจะไหลจากถังจ่ายลงในบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 2.7 ระดับของของเหลวที่บรรจุลงบรรจุภัณฑ์จะถูกกำหนดด้วยระดับของท่อน้ำล้น ตัวอย่างของเครื่องบรรจุระบบความดันแสดงดังรูปที่ 2.8

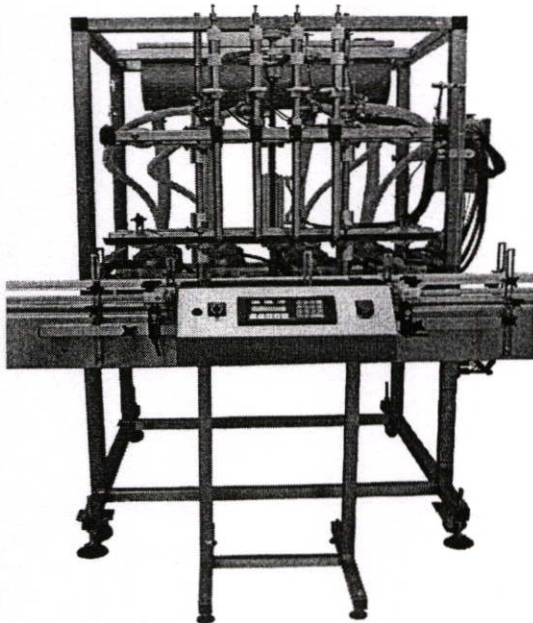


รูปที่ 2.7 การบรรจุระบบความดัน [12]

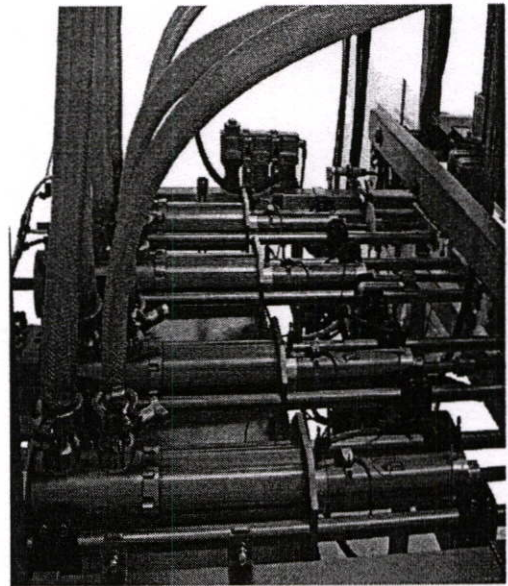


รูปที่ 2.8 เครื่องบรรจุระบบความดัน [14]

2.4.4 การบรรจุระบบกระบอกสูบ ระบบนี้ประกอบด้วยกระบอกสูบพร้อมแกนลูกสูบและวาล์ว ผลิตภัณฑ์จะไหลจากถังเก็บเมื่อลูกสูบเลื่อนมาข้างหลัง และถูกบังคับให้ไหลลงในบรรจุภัณฑ์เมื่อลูกสูบเลื่อนมาข้างหน้า เป็นระบบการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ผลิตภัณฑ์ไหลเองได้ง่าย รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของเครื่องบรรจุระบบกระบอกสูบ



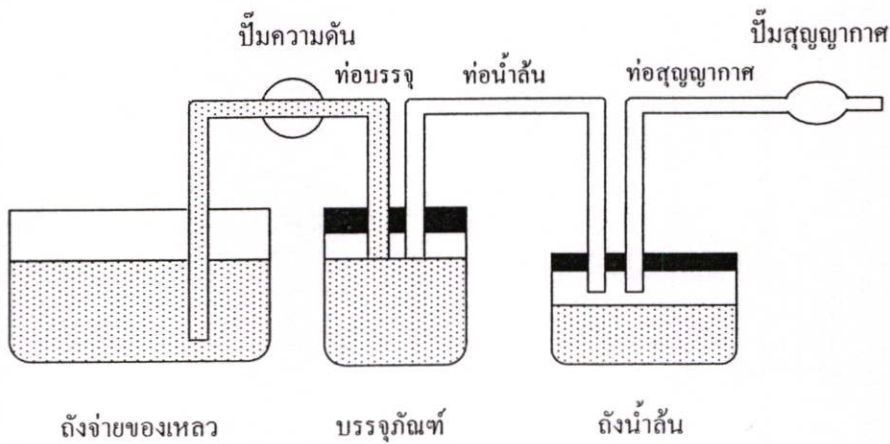
(ก) เครื่องบรรจุระบบกระบอกสูบ
ประกอบด้วย 4 หัวบรรจุ



(ข) ตำแหน่งของกระบอกสูบ

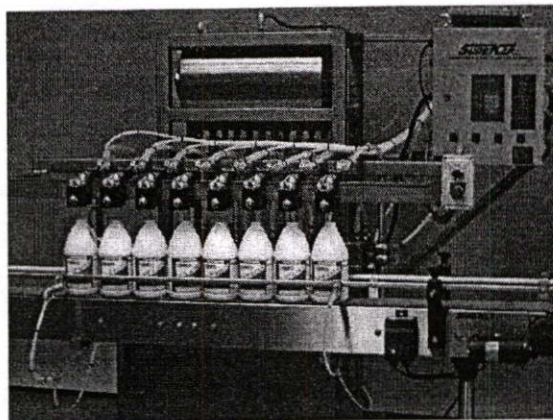
รูปที่ 2.9 เครื่องบรรจุระบบกระบอกสูบ [15]

2.4.5 การบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ความดันจากปั๊มความดันช่วยให้ของเหลวไหลได้เร็ว และปั๊มสุญญากาศจะช่วยเร่งความเร็วในการบรรจุ เมื่อใส่ปลายท่อบรรจุและท่อน้ำล้นระดับคอกของบรรจุภัณฑ์แล้วผนึกให้สนิทด้วยวงแหวน ปั๊มสุญญากาศจะดูดอากาศออกจากบรรจุภัณฑ์และปล่อยทิ้งไป ทำให้ความดันของอากาศในถังจ่ายของเหลวสูงกว่าความดันในบรรจุภัณฑ์ ของเหลวในถังจ่ายของเหลวจะถูกดันด้วยแรงดันบรรยากาศเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ เมื่อเต็มของเหลวในบรรจุภัณฑ์ถึงระดับปลายท่อน้ำล้น ของเหลวที่อยู่เหนือระดับปลายท่อจะถูกดูดออกและไหลไปยังถังน้ำล้น ทำให้ของเหลวไม่สูงเกินกว่าระดับที่ต้องการบรรจุ ดังรูปที่ 2.10 การบรรจุระบบนี้เหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณฟองอากาศและมีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ระบบนิวแมติก (pneumatic system) ควบคุมระดับการบรรจุของเหลวแทนปั๊มสุญญากาศที่ถังน้ำล้นได้ รายละเอียดของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบจะอธิบายในหัวข้อ 2.6



รูปที่ 2.10 การบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ [12]

2.4.6 การบรรจุระบบการตวงและการวัดโดยใช้ปั๊มวัด (metering pump) ระบบนี้สามารถติดตั้งปั๊มชนิดเคลื่อนที่ได้บริเวณที่ต้องการ ปั๊มจะทำงานจากการตั้งจำนวนรอบไว้ล่วงหน้า และหยุดการจ่ายของเหลวเมื่อครบจำนวนรอบที่ตั้งไว้ การเลือกใช้ปั๊มขึ้นอยู่กับขนาดของบรรจุภัณฑ์ เช่น ถ้าใช้ปั๊มโรตารีจะบรรจุผลิตภัณฑ์ในช่วง 50 มิลลิลิตร - 20 ลิตร การบรรจุระบบนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ซึ่งไม่มีสารแขวนลอยหรือการตกตะกอน เช่น น้ำดื่ม ซอส เป็นต้น รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างของเครื่องบรรจุซึ่งใช้เครื่องวัดการไหลแบบ mass flowmeter เป็นเครื่องมือวัดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุ

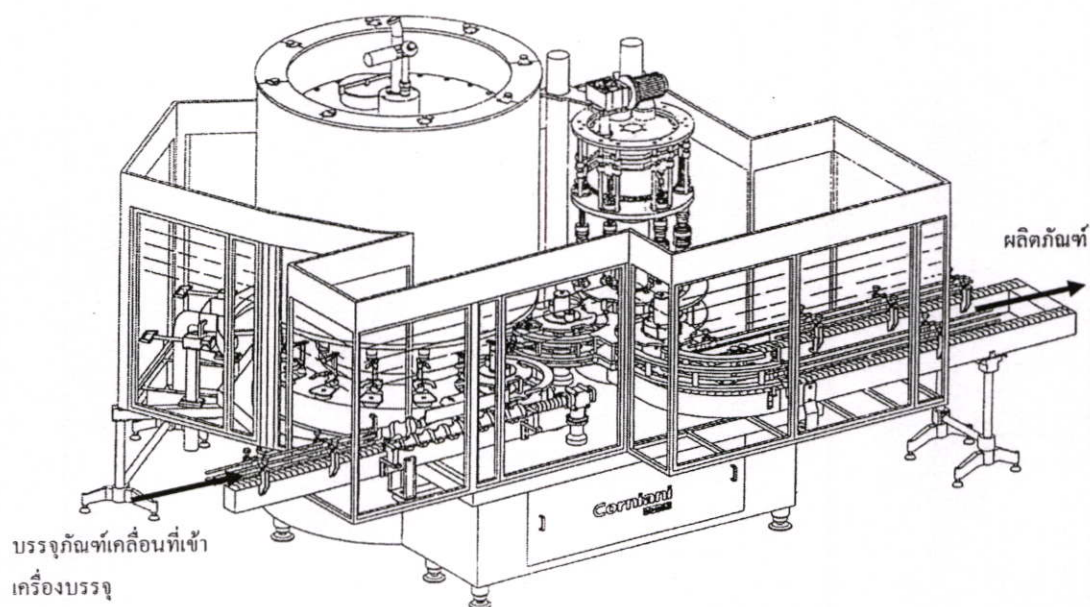


รูปที่ 2.11 เครื่องบรรจุระบบการตวงและการวัดโดยใช้ปั๊มวัด [16]

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง และเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

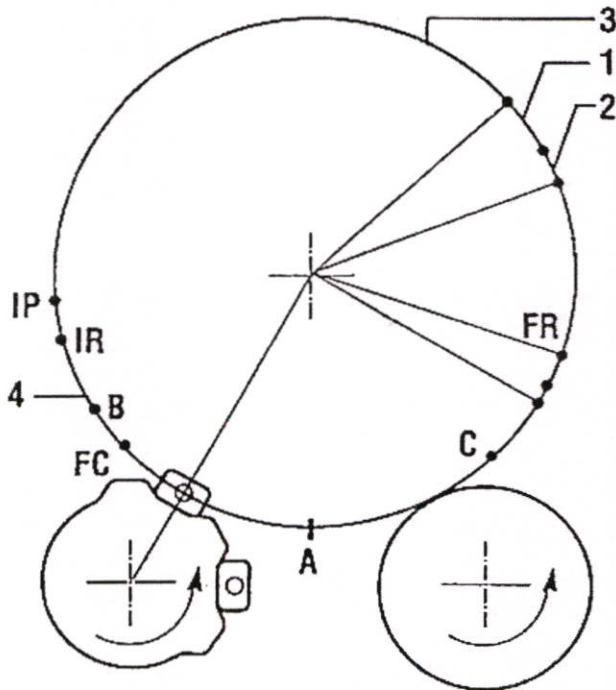
2.5 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ [1]

รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติที่เป็นกรณีศึกษาในการบรรจุน้ำยาล้างจาน



รูปที่ 2.12 เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ [1]

เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติเหมาะที่จะใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิมัลชันหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณฟองอากาศมาก เช่น น้ำยาล้างจาน จากรูปที่ 2.12 แนวทางการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์มีลักษณะแบบโรตารีคือเป็นแนววงกลม และมีวาล์วเปิด-ปิดบริเวณตอนล่างของหัวบรรจุ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ไหลและบริเวณผิวบรรจุภัณฑ์ หัวบรรจุทำงานด้วยระบบนิวแมติกและสามารถตกลงบนปากบรรจุภัณฑ์ได้พอดี มีห่วงยางซึ่งมีขนาดพอเหมาะกับขนาดของรูหัวบรรจุ เมื่อห่วงยางเคลื่อนที่ขึ้นตามระยะชักของก้านสูบด้วยระบบนิวแมติกจะเป็นจังหวะที่วาล์วเปิด ผลิตภัณฑ์จะไหลจากถังจ่ายที่ตั้งอยู่ตอนบนลงบรรจุภัณฑ์โดยตรงด้วยความดันที่ต่ำมาก ซึ่งรายละเอียดการคำนวณความดันที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการไหลของน้ำยาล้างจานภายในท่อทรงกระบอกแสดงในภาคผนวก ก. รูปที่ 2.13 แสดงวัฏจักรของการบรรจุของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติที่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน สถานะการทำงานของเครื่องบรรจุจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องบรรจุ งานวิจัยนี้จะพิจารณาสภาพของห่วงยางที่หัวบรรจุ สภาพของโพลคเซลล์ สถานะการทำงานและระบบการชั่งด้วยโพลคเซลล์ และประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ เนื่องจากคาดว่ามีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

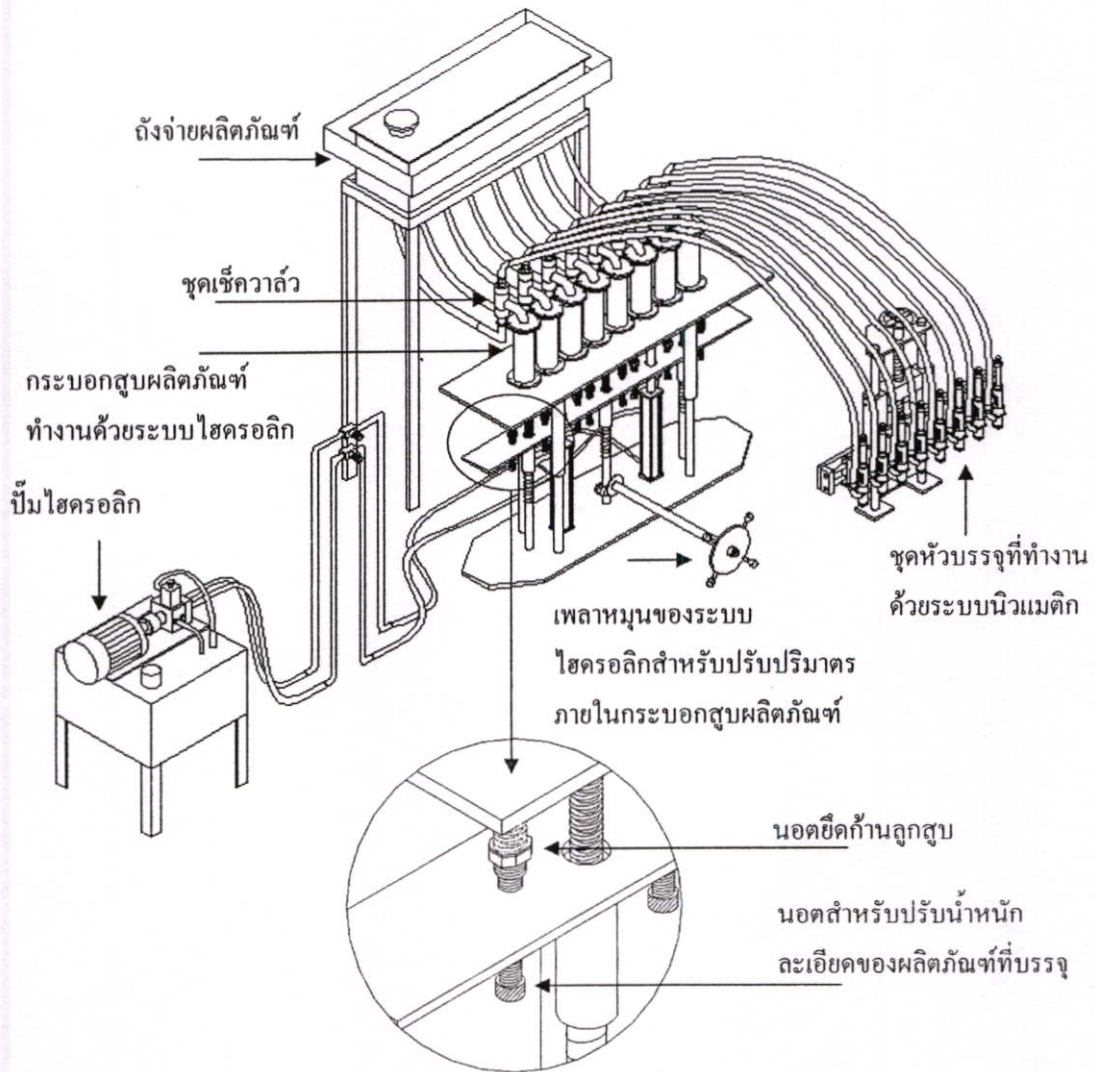


รูปที่ 2.13 วัฏจักรของการบรรจุของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ [1]

- จุด A มีโพลดเซลล์ทำหน้าที่ควบคุมความถูกต้องของน้ำหนักรน้ำยาล้างจานที่ถูกบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ภายในน้ำหนักขอบเขตควบคุม และทำสมดุลน้ำหนักของแป้นรองบรรจุภัณฑ์ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ในทุกๆ รอบก่อนการบรรจุ
- จุด B โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่องบรรจุจะทำสมดุลการบรรจุ โดยกำหนดให้น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าที่ยังไม่ได้บรรจุน้ำยาล้างจานมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าน้ำหนักบรรจุภัณฑ์เปล่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมจะไม่ส่งสัญญาณให้วาล์วเปิด จึงไม่มีการบรรจุน้ำยาล้างจานที่หัวบรรจุนั้น
- จุด C เป็นตำแหน่งที่ตรวจสอบอัตราการบรรจุน้ำยาล้างจาน ถ้าวรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่ถึงจุด C แล้วแต่การบรรจุน้ำยาล้างจานในรอบยังไม่เสร็จ ระบบจะปรับความเร็วรอบของการบรรจุให้ช้าลงโดยอัตโนมัติ
- จุด FC เป็นตำแหน่งที่บรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่อยู่บนแป้นรองบรรจุภัณฑ์และพร้อมเข้าระบบการบรรจุ
- จุด FR เป็นตำแหน่งสุดท้ายของการบรรจุ และเปรียบเทียบน้ำหนักรน้ำยาล้างจานกับน้ำหนักรขอบเขตควบคุม ระบบจะแยกผลิตภัณฑ์ที่บรรจุมากหรือน้อยกว่าน้ำหนักรขอบเขตควบคุมออกจากสายการบรรจุ พนักงานจะตรวจสอบและส่งผลิตภัณฑ์ที่บรรจุน้ำหนักเกินน้ำหนักรขอบเขตควบคุมกลับเข้าสายการบรรจุเพื่อบรรจุลงกล่องและให้เป็น giveaway แก่ผู้บริโภค ส่วนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุน้ำหนักรน้อยกว่าน้ำหนักรขอบเขตควบคุมจะกลายเป็นงานรีเวิร์ค เพราะพนักงานจะต้องปรับน้ำหนักรให้อยู่ในน้ำหนักรมาตรฐานผลิตภัณฑ์ก่อนส่งกลับเข้าสายการบรรจุเพื่อบรรจุลงกล่อง
- จุด IP เป็นตำแหน่งที่ควบคุมการทำงานของโพลดเซลล์อย่างต่อเนื่องด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ถ้าพบว่าน้ำหนักรของการบรรจุน้ำยาล้างจานซึ่งชั่งด้วยโพลดเซลล์มีค่าไม่เพิ่มขึ้นเลย ระบบควบคุมจะส่งสัญญาณตั้งปีควาล์วและไม่มีกรบรรจุ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์นั้นอาจมีรูรั่ว
- จุด IR เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการบรรจุ
- จุด 1 เป็นตำแหน่งที่บรรจุน้ำยาล้างจานลงบรรจุภัณฑ์แล้ว และรอเปรียบเทียบน้ำหนักรน้ำยาล้างจานที่บรรจุกับน้ำหนักรขอบเขตควบคุม
- จุด 2 เป็นตำแหน่งที่โพลดเซลล์สิ้นสุดการชั่งน้ำหนักรน้ำยาล้างจาน
- จุด 3 เป็นตำแหน่งที่โพลดเซลล์ชั่งน้ำหนักรน้ำยาล้างจานที่บรรจุเทียบกับน้ำหนักรขอบเขตควบคุม
- จุด 4 เป็นตำแหน่งของการทำสมดุลน้ำหนักรบรรจุภัณฑ์เปล่า

2.6 หลักการทำงานของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ [1]

รูปที่ 2.14 แสดงเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติที่เป็นกรณีศึกษาในการบรรจุครีมอาบน้ำ



รูปที่ 2.14 เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ [1]

เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบดังรูป เหมาะที่จะใช้บรรจุของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ครีมอาบน้ำ แชมพู และครีมนวดผมหู เครื่องบรรจุนี้มีแนวทางการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์แบบเส้นตรง เนื่องจากเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบที่เป็นกรณีศึกษานี้เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติจึงสามารถปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานได้ง่ายกว่าเครื่องบรรจุแบบอัตโนมัติ งานวิจัยนี้พิจารณาการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่

เครื่องบรรจุ การทำงานและสภาพของหัวบรรจุ ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ สภาพของกระบอกสูบและสภาพของลูกสูบ เป็นต้น เนื่องจากคาดว่ามีความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติ

1. บรรจุภัณฑ์เปล่าถูกส่งเข้าเครื่องบรรจุด้วยสายพานลำเลียง และมีโฟโตเซลล์ (photo cell) ทำหน้าที่นับจำนวนบรรจุภัณฑ์เปล่าเข้าให้ครบตามจำนวนหัวบรรจุ
2. ประกับเคลื่อนที่เข้าจับปากบรรจุภัณฑ์เปล่า
3. หัวบรรจุเคลื่อนที่ลงเข้าปากบรรจุภัณฑ์เปล่า ซึ่งเป็นจังหวะที่ลูกสูบที่หัวบรรจุทั้ง 8 หัวบรรจุ เคลื่อนที่ขึ้นด้วยระบบนิวแมติก เพื่อเปิดหัวบรรจุให้ครีมอาบน้ำเคลื่อนที่ลงบรรจุภัณฑ์เปล่า
4. ปั๊มไฮดรอลิก (hydraulic pump) เคลื่อนที่ขึ้นตามระดับการปรับเพลาหมุน และชุดเช็ควาล์วของทั้ง 8 หัวบรรจุ จะถูกเปิดให้ครีมอาบน้ำไหลจากกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ลงบรรจุภัณฑ์เปล่าตามน้ำหนักที่ตั้งระดับของสเกลไว้
5. ลูกสูบที่หัวบรรจุทั้ง 8 หัวบรรจุ จะเคลื่อนที่ลงด้วยระบบนิวแมติกเพื่อปิดหัวบรรจุ จากนั้นหัวบรรจุเคลื่อนที่ออกจากปากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นจังหวะเดียวกันกับปั๊มไฮดรอลิกเคลื่อนที่ลง ทำให้ชุดเช็ควาล์วของทั้ง 8 หัวบรรจุ เปิดรับครีมอาบน้ำจากถังจ่ายผลิตภัณฑ์เข้ากระบอกสูบผลิตภัณฑ์เพื่อการบรรจุในรอบถัดไป
6. ประกับเคลื่อนที่ออกจากปากบรรจุภัณฑ์ และปล่อยบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุครีมอาบน้ำแล้วออกไปสู่เครื่องปิดฝา

บทที่ 3

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การบริหารคุณภาพ (quality management) [17]

ในการพัฒนาธุรกิจองค์กรต้องค้นคว้าที่จะพัฒนากระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือบริการอย่างมีระบบ โดยความร่วมมือของบุคลากรทั้งองค์กรผ่านกระบวนการบริหารคุณภาพ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer: VOC) ให้มากที่สุดด้วยต้นทุนการดำเนินงานที่เหมาะสม

การบริหารคุณภาพ หมายถึง กระบวนการบ่งชี้และการบริหารกิจกรรมต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์ด้านคุณภาพขององค์กร การบริหารคุณภาพประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก คือ

1. การวางแผนคุณภาพ (quality planning) หมายถึง การกำหนดเป้าหมายเพื่อตอบสนองความคาดหวังของลูกค้า โดยจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจ การวางแผนคุณภาพนี้ ถือเป็นกระบวนการต้นน้ำ (upstream process) ของการบริหารคุณภาพ ดังนั้นถ้าการวางแผนคุณภาพไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความผิดพลาดหรือมีข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต

2. การควบคุมคุณภาพ (quality control) หมายถึง การเฝ้าพิทักษ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตและเปรียบเทียบกับความคาดหวังของลูกค้า หากพบว่าผลการดำเนินการมิได้เป็นไปตามความคาดหวังและทำให้มีข้อร้องเรียนจากลูกค้า ทีมงานประกันคุณภาพจะต้องค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดหรือข้อบกพร่องดังกล่าวเพื่อแก้ไขปัญหา

3. การปรับปรุงคุณภาพ (quality improvement) หมายถึง การคาดการณ์ความคาดหวังใหม่ของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์เดิม และค้นหาความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตใหม่ โดยการวางแผนและสร้างระบบการดำเนินงานใหม่ตลอดจนการควบคุมคุณภาพเพื่อให้บรรลุเป้าหมายใหม่ที่กำหนดไว้

จุดประสงค์ของการบริหารคุณภาพ คือ การประกันคุณภาพ (quality assurance) ซึ่งหมายถึง การสร้างความเชื่อมั่นของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาคุณภาพของการดำเนินงานทั่วทั้งองค์กรเพื่อให้บรรลุความพึงพอใจของลูกค้า

3.2 การทำให้เป็นมาตรฐาน (standardization) [17-18]

การทำให้เป็นมาตรฐาน หมายถึง การกำหนดกฎ ระเบียบ วิธีปฏิบัติ ที่เกี่ยวข้องกับพนักงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์ วิธีการปฏิบัติงาน วัตถุประสงค์ ตลอดจนสภาพแวดล้อมของการทำงาน ให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน เพื่อให้พนักงานเกิดทักษะและปฏิบัติงานถูกต้องเมื่อได้ปฏิบัติตาม มาตรฐานการปฏิบัติงานนั้นๆ ตลอดจนสามารถควบคุมความแปรผันของปัจจัยและความสูญเสีย ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นแล้วจากการปฏิบัติงาน รวมถึงสามารถป้องกันการเกิดขึ้นซ้ำของ ปัญหา

มาตรฐานการปฏิบัติงานสามารถจัดประเภทตามผู้ใช้งานได้ 3 ประเภท คือ

3.2.1 มาตรฐานทางเทคนิค กล่าวถึงเงื่อนไขที่จำเป็นทางเทคนิค เช่น ข้อกำหนด รายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการผลิต หลักการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการผลิต ซึ่งมีผล ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ใช้เป็นคู่มือสำหรับช่างเทคนิคในการควบคุมและตรวจสอบกระบวนการ

3.2.2 มาตรฐานการทำงาน กล่าวถึงตำแหน่งและวิธีปฏิบัติที่ต้องควบคุมหรือตรวจสอบ ความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการทำงาน ใช้เป็นคู่มือสำหรับผู้ควบคุมงานในกระบวนการ ผลิต

3.2.3 คู่มือการปฏิบัติงาน เป็นเอกสารแนะนำการทำงานในแต่ละขั้นตอนของ กระบวนการให้กับพนักงาน โดยจะกล่าวถึงหลักเกณฑ์ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ เช่น ขอบเขตของ งาน การเตรียมงาน ความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง และข้อควรระวังในขณะทำงาน เป็นต้น

3.3 ระบบซิกซ์ซิกม่า [4-5, 19-26]

ในงานทางสถิติค่าเฉลี่ยของข้อมูลสุ่มจากกระบวนการ (\bar{X}) ของข้อมูล n จำนวน แสดงดังสมการที่ 3.1 และซิกม่า (σ) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ในภาษากรีก คือ ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ซึ่งคือการวัดการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลสุ่ม จากกระบวนการ แสดงดังสมการที่ 3.2 และ 3.3 ถ้าค่าของข้อมูลอยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยมาก ค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐานจะสูง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลที่สุ่มได้จาก กระบวนการมีความแปรผันมาก ในกรณีที่ เป็นข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต แสดงว่ามีของเสียหรือข้อบกพร่อง (defect) เกิดขึ้นในกระบวนการมาก

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.1)$$

$$\text{เมื่อ } n < 25 \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

$$\text{เมื่อ } n > 25 \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.3)$$

- โดยที่ x คือ ข้อมูลสุ่มจากกระบวนการ
 \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสุ่มจากกระบวนการ
 n คือ จำนวนของข้อมูลสุ่มทั้งหมด
 σ คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

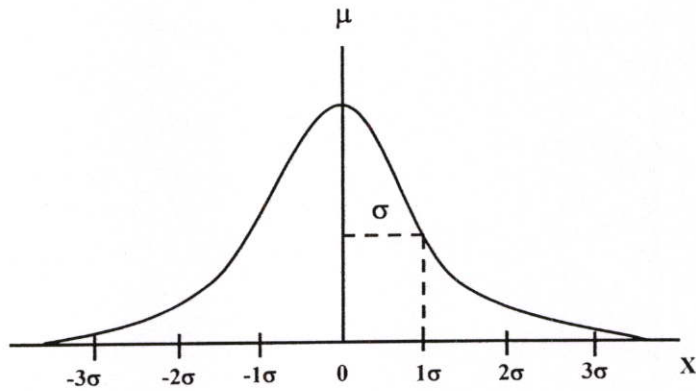
ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (voice of the process) จะพิจารณาข้อมูลทั้งหมดจากกระบวนการหรือความแปรผันของกลุ่มประชากร (population) จากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (μ) ดังสมการที่ 3.4 แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเก็บข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มประชากรจากกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมเพื่อการวิเคราะห์กระบวนการได้เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลมาก จึงประมาณค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรด้วยการอนุมานทางสถิติ (statistical inference) และใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสุ่มจากกระบวนการ (\bar{x}) แทน μ ดังสมการที่ 3.5

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.4)$$

$$\bar{x} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.5)$$

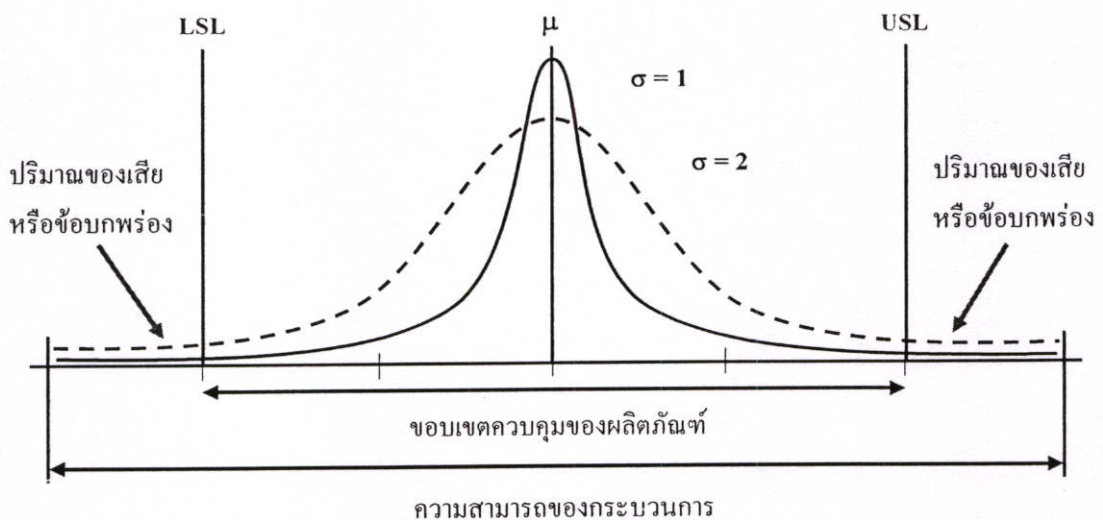
ระบบซิกซ์ซิกม่า คือ การลดความผิดพลาดและความสูญเสียในทุกขั้นตอนของกระบวนการ เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจและบริษัทมีกำไรมากขึ้น ซึ่งเน้นที่การลดการเกิดของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ การแก้ไขจึงต้องจัดการที่ต้นตอของปัญหาเพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาซ้ำขึ้นอีก ซึ่งต่างจากการประกันคุณภาพที่เป็นการคัดเลือกเอาปัญหาออก และไม่ได้เกิดการแก้ไขปรับปรุงหรือป้องกันปัญหา สำหรับงานวิจัยนี้ของเสียหรือข้อบกพร่อง คือ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุน้ำหนักไม่ได้ตามน้ำหนักขอบเขตควบคุม ในระบบซิกซ์ซิกม่าที่กลุ่มประชากรมีการกระจาย

ตัวแบบปกติ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งแสดงการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร [19]

สำหรับกระบวนการที่กลุ่มประชากรมีการกระจายตัวแบบปกติดังรูปที่ 3.1 นั้น พื้นที่ใต้โค้งของแผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความสามารถของกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ภายในขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนและล่างของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ถ้าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงแสดงว่ากระบวนการผลิตมีความแปรผันสูง ความสามารถของกระบวนการต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเพราะขาดการบำรุงรักษาที่ถูกรวิธี หรือสภาวะการทำงานของกระบวนการผลิตไม่เหมาะสม เป็นต้น ทำให้พื้นที่ใต้โค้งของแผนภูมิฮิสโตแกรมกว้างและมีพื้นที่ที่อยู่นอกขอบเขตควบคุมมากซึ่งคือปริมาณของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ในกรณีที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ พื้นที่ใต้โค้งจะแคบและมีพื้นที่ที่อยู่ภายนอกขอบเขตควบคุมหรือปริมาณของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจะลดลง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความสามารถของกระบวนการที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างกัน [4]

ความสามารถหรือสมรรถนะของกระบวนการสัมพันธ์กับ “โอกาสของการพบข้อบกพร่องในหนึ่งล้านครั้งของการผลิตหรือการปฏิบัติงาน (Defect Per Million Opportunity: DPMO)” [19] ซึ่งคำนวณ ได้ดังสมการที่ 3.6

$$DPMO = \frac{\text{จำนวนครั้งของการพบข้อบกพร่อง}}{\text{จำนวนครั้งของเหตุการณ์} \times \text{โอกาสของผลิตภัณฑ์ที่น่าจะเกิดข้อบกพร่อง}} \times 10^6 \quad (3.6)$$

กระบวนการที่มีสมรรถนะสูงค่า DPMO จะต่ำ โอกาสของการพบข้อบกพร่องในหนึ่งล้านครั้งเทียบได้กับพื้นที่ใต้โค้งที่อยู่นอกขอบเขตควบคุม สำหรับระบบอุดมคติ (ideal system) หรือกระบวนการผลิตที่ไม่มีการรบกวนจากปัจจัยภายนอกกระบวนการและกลุ่มประชากรมีการกระจายตัวแบบปกติ ค่าโอกาสของการพบข้อบกพร่องในหนึ่งล้านครั้งของการผลิตที่ระดับซิกม่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

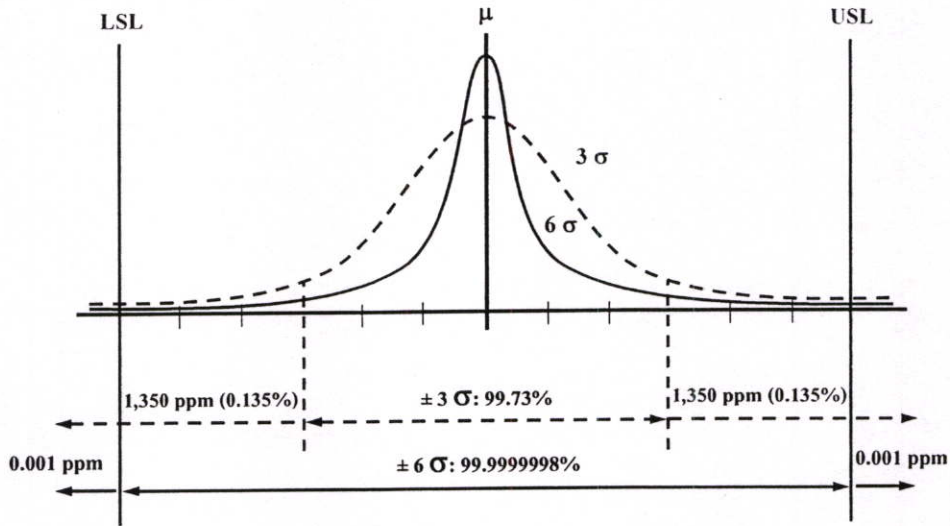
ตารางที่ 3.1 โอกาสของการพบข้อบกพร่องของระบบอุดมคติที่ระดับซิกม่าต่างๆ [20]

ระดับซิกม่า	พื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายในขอบเขตควบคุม (%)	พื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายนอกขอบเขตควบคุม (%)	โอกาสของการพบข้อบกพร่องต่อหนึ่งล้านครั้งของการผลิต (ppm)
1	68.27	31.73	317,300
2	95.45	4.55	45,500
3	99.73	0.27	2,700
4	99.9937	0.0063	63
5	99.999943	0.000057	0.57
6	99.9999998	0.0000002	0.002

จากตารางที่ 3.1 ที่ระดับ 1 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ 1 ซิกม่า โอกาสของการพบข้อบกพร่องต่อหนึ่งล้านของการผลิตเท่ากับ 317,300 ppm คำนวณได้เท่ากับพื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายนอกขอบเขตควบคุม 31.73% จากพื้นที่ใต้โค้งทั้งหมด 100% ทั้งนี้ในระบบซิกซ์ซิกม่าต้องการควบคุมการเกิดของเสียหรือข้อบกพร่องที่ระดับ 6 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

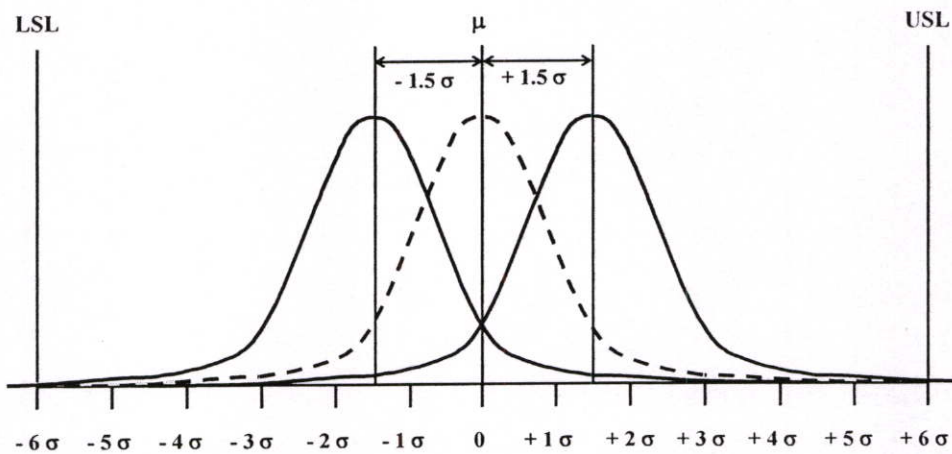
การเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตที่ระดับ ± 3 ซิกม่า และ ± 6 ซิกม่า แสดงดังรูปที่ 3.3 พบว่าที่ระดับ ± 3 ซิกม่า พื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายในขอบเขตควบคุมหรือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 99.73% และพื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายนอกขอบเขตควบคุมหรือโอกาสของการพบข้อบกพร่องต่อการผลิต 1,000,000 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2,700 ppm (0.27%) สำหรับที่ระดับ ± 6 ซิกม่า พื้นที่ใต้โค้งแคบลง เมื่อกำหนดพื้นที่ใต้โค้งซึ่งอยู่ในขอบเขตควบคุม

หรือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 99.999998% ดังนั้นโอกาสของการพบข้อบกพร่องต่อการผลิต 1,000,000 ครั้ง มีค่าเพียง 0.002 ppm (0.0000002%)



รูปที่ 3.3 แผนภูมิฮีสโตแกรมแสดงความสามารถของกระบวนการแบบระบบอุณหภูมิต่ำที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติที่ระดับ ± 3 ซิกม่า และ ± 6 ซิกม่า

แต่ในความเป็นจริงกระบวนการผลิตจะถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกกระบวนการ ผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของกระบวนการจริงนั้นคลาดเคลื่อนไปจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุณหภูมิต่ำประมาณ $\pm 1.4-1.6$ เท่าของซิกม่า โดยทั่วไปพบว่ากระบวนการจริงคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุณหภูมิต่ำ ± 1.5 เท่าของซิกม่า ดังรูปที่ 3.4 ข้อมูลจากตารางที่ 3.1 ได้ถูกปรับเพื่อใช้กับกระบวนการจริงที่คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุณหภูมิต่ำ ± 1.5 เท่าของซิกม่า ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 แผนภูมิฮีสโตแกรมของกระบวนการที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติและคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุณหภูมิต่ำ ± 1.5 เท่าของซิกม่า เนื่องจากการรบกวนของปัจจัยภายนอก [19]

ตารางที่ 3.2 โอกาสของการพบข้อบกพร่องของกระบวนการที่กลุ่มประชากรกระจายตัวแบบปกติ และคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรของระบบอุดมคติ ± 1.5 เท่าของซิกม่า ที่ระดับซิกม่าต่างๆ [20]

ระดับซิกม่า	พื้นที่ใต้โค้งที่อยู่ภายในขอบเขตควบคุม (%)	โอกาสของการพบข้อบกพร่องต่อหนึ่งล้านครั้งของการผลิต (ppm)	สถานะของกระบวนการ
1	30.23	697,700	สภาพอันตราย
2	69.13	308,537	
3	93.32	66,807	ระดับทั่วไป
4	99.3790	6,210	
5	99.97670	233	
6	99.999660	3.4	ระดับโลก

ที่ระดับ 6 ซิกม่า โอกาสที่เป็นไปได้ที่จะพบข้อบกพร่องเท่ากับ 3.4 ครั้งต่อการผลิต 1,000,000 ครั้ง หรือ 3.4 ppm ซึ่งเป็นเป้าหมายในการควบคุมของเสียหรือข้อบกพร่องบนพื้นฐานของระบบซิกซ์ซิกม่า ถือว่าเป็นระดับที่เข้มงวดในการดำเนินการ ระดับสมรรถนะของกระบวนการส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับ 2 ซิกม่า หรือ 3 ซิกม่า ถ้าพบว่าโอกาสการพบของเสียหรือข้อบกพร่องมีจำนวน 697,700 ครั้ง ใน 1,000,000 ครั้ง คือ อยู่ที่ระดับ 1 ซิกม่า จะต้องรีบหาสาเหตุของปัญหาและแก้ไข

การดำเนินงานในระบบซิกซ์ซิกม่า ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดและนิยามปัญหา (define phase) การวัดผล (measure phase) การวิเคราะห์ผล (analyze phase) การปรับปรุง (improve phase) และการควบคุม (control phase) หรือ DMAIC [4-5] มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การกำหนดและนิยามปัญหา เป็นขั้นตอนของการระบุปัญหาหรือปัจจัยป้อนออกกระบวนการ (Key Parameter Output Variable: KPOV) หรือตัวแปรตอบสนอง (response variable) โดยพิจารณาปัญหาที่ส่งผลในลักษณะต่างๆ เช่น ปัญหาวิกฤตต่อคุณภาพ (critical to quality) ปัญหาวิกฤตต่อต้นทุน (critical to cost) และปัญหาวิกฤตต่อการส่งมอบ (critical to delivery) เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ ความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน และครีมอาบน้ำที่บรรจุ

3.3.2 การวัดผล ศึกษาขั้นตอนในกระบวนการโดยละเอียด เพื่อระบุประเภทและที่มาของสาเหตุหรือปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (Key Parameter Input Variable: KPIV) ต่อตัวแปรตอบสนองในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการด้วยแผนภาพกระบวนการ (process map) จากการระดมสมองโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล และลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเพื่อตัดปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่ไม่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองให้เหลือ

เพียงปัจจัยที่สำคัญและคาดว่าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เช่น แผนภาพสาเหตุและผล ความสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างสาเหตุและผล และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) [25] เพื่อยืนยันความสามารถของระบบการวัดว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในการตรวจวัดค่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการและตัวแปรตอบสนอง

3.3.3 การวิเคราะห์ผล เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่คาดว่าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อหาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุที่ส่งผลแท้จริงต่อตัวแปรตอบสนองโดยใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ เช่น การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของตัวแปรสุ่มปกติในกรณี 1 ปัจจัย ที่มีมากกว่า 2 ระดับ ด้วยโปรแกรมมินิแทป เป็นต้น ซึ่งเครื่องมือทั้งสองนี้จะตัดสินความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่พิจารณาจากค่า P-Value ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีจำนวนมากกว่า 1 ปัจจัยและมี 2 ระดับขึ้นไปจะใช้การวิเคราะห์การถดถอย และการออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่คาดว่าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์การถดถอย

3.3.4 การปรับปรุง เป็นขั้นตอนของการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองกับปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อหาค่าหรือสถานะของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย และการออกแบบการทดลอง [4, 26]

ในงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองกับปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

3.3.5 การควบคุม ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง และตรวจติดตามเพื่อประเมินผลเมื่อกระบวนการได้รับการปรับปรุงแล้ว และกำหนดให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานและควบคุมไม่ให้เกิดความผิดพลาดซ้ำอีกในกระบวนการ

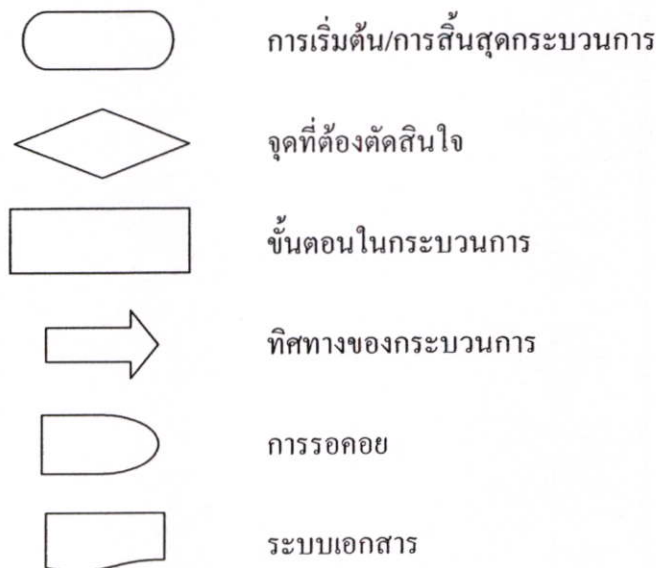
3.4 การวิเคราะห์ปัญหา [2, 4-5, 17, 27]

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาหรือตัวแปรตอบสนองกับปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการเพื่อลดความแปรผันของกระบวนการผลิตจะต้องอาศัยการคิดอย่างเป็นระบบและการ

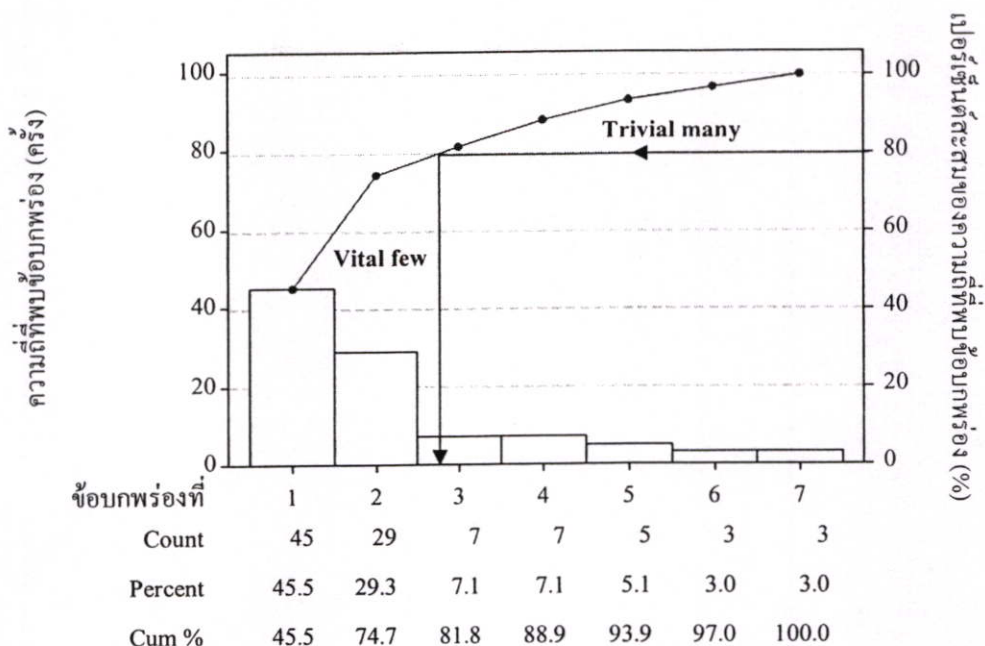
ตัดสินใจด้วยข้อมูลที่เชื่อถือได้ เพราะข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาแปลงเป็นสารสนเทศที่มีประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการปรับปรุงหรือแก้ไขกระบวนการ การแก้ไขปัญหาที่มีผลกระทบต่อลูกค้าหรือต่อคุณภาพ เช่น จำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง ต้นทุนการผลิตที่สูงกว่างบประมาณ หรือการผลิตที่ล่าช้ากว่าแผนการผลิต ในการวิเคราะห์ปัญหาควรพิจารณาสาเหตุของปัญหาและความแปรผันของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการผลิต เครื่องมือพื้นฐานที่ใช้ ได้แก่

3.4.1 แผนภาพกระบวนการ (process map) การสร้างแผนภาพกระบวนการต้องใช้วิธีการระดมสมองจากทีมงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุขั้นตอนที่เกิดขึ้นจริง และชี้แจงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการและตัวแปรตอบสนองของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการนั้นๆ อย่างละเอียด ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.5

3.4.2 แผนภูมิพาเรโต (pareto diagram) เป็นแผนภูมิแสดงค่าความถี่ที่ตรวจพบปัญหาหรือข้อบกพร่อง โดยเขียนเรียงลำดับความสำคัญจากซ้ายมือแล้วลดหลั่นกันไปทางขวามือ จากรูปที่ 3.6 แสดงค่าความถี่ของการเกิดข้อบกพร่องจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด โดยจำนวนข้อบกพร่องที่มีนัยสำคัญต่อปัญหามากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (vital few) ประมาณ 20% ของจำนวนข้อบกพร่องทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมของความถี่ที่พบข้อบกพร่องประมาณ 80% จาก 100% ในขณะที่จำนวนข้อบกพร่องที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาเพียงเล็กน้อยจะมีมาก (trivial many) ประมาณ 80% ของจำนวนข้อบกพร่องทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมของความถี่ที่พบข้อบกพร่องประมาณ 20% จาก 100% หลักการพาเรโตนี้เรียกว่า “กฎ 80-20”



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพกระบวนการ [4]

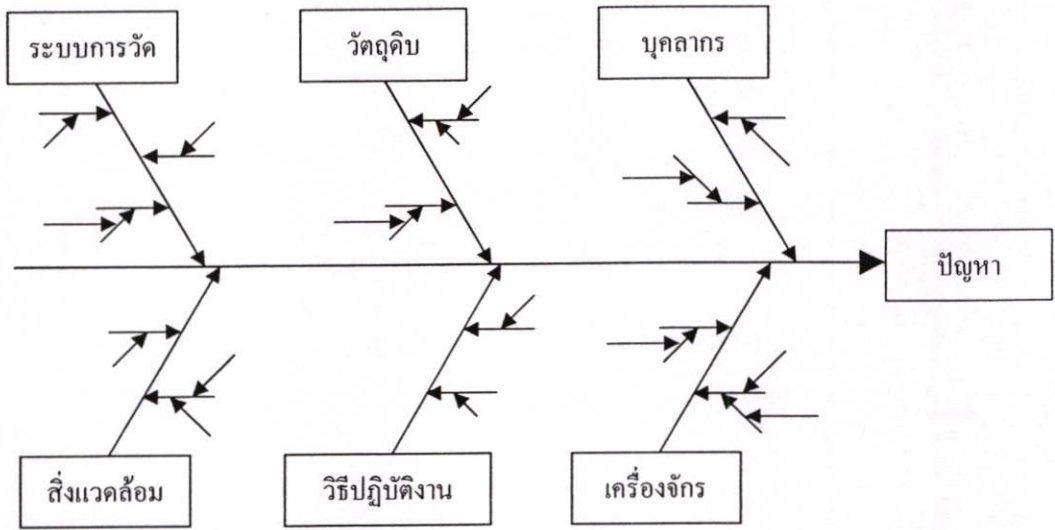


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของแผนภูมิพารโตแสดงความถี่ที่พบข้อบกพร่องในกระบวนการ [17]

3.4.3 แผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) หรือแผนภาพอิชิคาวา (Ishikawa diagram) หรือผังก้างปลา (fish bone diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุ กับตัวแปรตอบสนองหรือปัญหาหรือคุณลักษณะทางคุณภาพ การระบุปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุของปัญหาควรรใช้วิธีการระดมสมองจากผู้ชำนาญหรือผู้คุ้นเคยในกระบวนการนั้นๆ เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบางอย่างอาจทำให้เกิดการแก้ไขปัญหาที่ผิดจุดได้ ตัวอย่างปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการด้านต่างๆ ที่พิจารณาในแผนภาพสาเหตุและผล เช่น

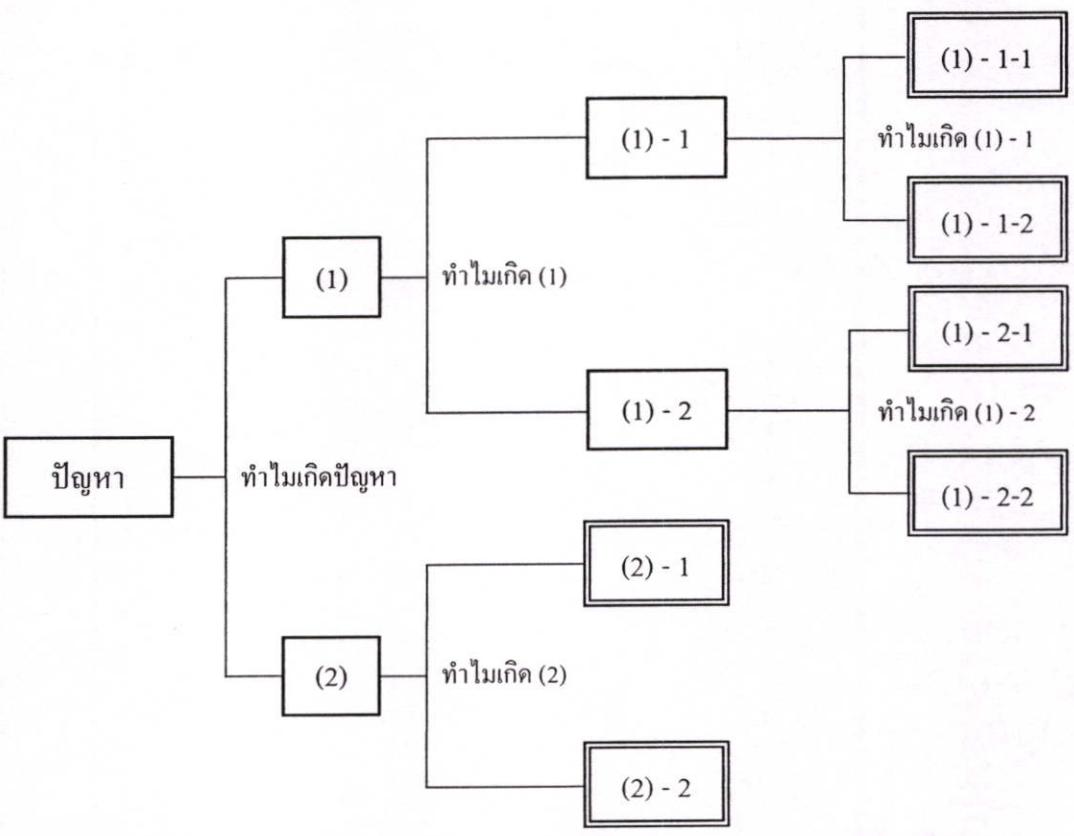
- บุคลากร (man)
- วัตถุดิบ (material)
- เครื่องจักร (machine)
- วิธีการปฏิบัติงาน (method)
- ระบบการวัด (measurement)

ถ้าปัญหาที่สนใจนั้นอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการพิจารณาด้วย เรียกว่า “5 M 1 E” ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผล [4]

3.4.4 Why – Why analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดตัวแปรตอบสนองหรือปัญหาอย่างมีขั้นตอนและเป็นระบบ [27] รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค Why – Why analysis เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริง



รูปที่ 3.8 วิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Why – Why analysis

รูปที่ 3.8 อธิบายการค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยเริ่มจากการตั้งคำถามว่า “ทำไมจึงทำให้เกิดปัญหาขึ้น” ถ้าพบว่ามี 2 สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้น คือ (1) และ (2) ต้องพิจารณาต่อไปว่า ทำไมสาเหตุที่ (1) และ (2) จึงเกิดขึ้น ในที่นี้พบว่าสาเหตุที่ทำให้สาเหตุที่ (1) เกิดขึ้น คือ (1) - 1 และ (1) - 2 และสาเหตุที่ทำให้สาเหตุที่ (2) เกิดขึ้น คือ (2) - 1 และ (2) - 2 เมื่อพิจารณาเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในที่สุดจะพบสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาขึ้น ทำให้สามารถหามาตรการการแก้ไขหรือปรับปรุงสาเหตุที่แท้จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมที่ช่วยวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะของข้อบกพร่อง (failure mode) ของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ เริ่มจากการพิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาจากแผนภาพกระบวนการหรือแผนภาพสาเหตุและผล จากนั้นประเมินผลกระทบจากค่าความเสี่ยง (risk) ที่ลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการจะเกิดขึ้น เพื่อลำดับความสำคัญของมาตรการแก้ไขหรือปรับปรุงปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการและลดความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหา ในการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบพิจารณาจาก

ก. ความรุนแรง (severity: S) พิจารณาจากความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อลูกค้าหรือกระบวนการผลิตเมื่อเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการนั้นๆ ขึ้น เช่น ในกระบวนการพ่นสี ถ้าความเข้มข้นของสารเคมีไม่เหมาะสมอาจทำให้คุณภาพชิ้นงานที่ถูกพ่นสีลดลง หรือถ้าแรงดันของหัวฉีดน้ำสำหรับล้างชิ้นงานก่อนการพ่นสีต่ำเกินไป นอกจากทำให้ชิ้นงานไม่สะอาดแล้วยังอาจทำให้สารละลายฟอสเฟตเคลือบผิวชิ้นงานไม่สมบูรณ์ เป็นต้น

ข. โอกาสการเกิด (occurrence: O) พิจารณาโอกาสที่จะเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ เช่น กรณีความเข้มข้นของสารเคมีไม่เหมาะสม จะเกิดเมื่อค่าความเป็นกรดในสารละลายฟอสเฟตไม่เหมาะสม หรือกรณีแรงดันของหัวฉีดน้ำต่ำเกินไป อาจเกิดจากหัวฉีดน้ำตัน เป็นต้น

ค. ความสามารถในการตรวจจับ (detection: D) พิจารณาประสิทธิภาพหรือความสามารถของระบบควบคุมในการตรวจพบลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการก่อนส่งมอบผลิตภัณฑ์ วิธีการควบคุมในกระบวนการ เช่น การตรวจสอบด้วยตาเปล่า (visual control) การควบคุมด้วยแผนภูมิควบคุมคุณภาพ และการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัดหรือเกจวัดผลิตภัณฑ์ก่อนออกจากกระบวนการ เป็นต้น กรณีความเข้มข้นของสารเคมีไม่เหมาะสม ใช้การไทเทรตควบคุมค่าความเข้มข้นของสารเคมีให้อยู่ในช่วงขอบเขตควบคุม กรณีแรงดันของหัวฉีดน้ำ ใช้วิธีล้างหัวฉีดทุกอาทิตย์ เป็นต้น

ผู้วิเคราะห์ประเมินผลกระทบจากค่าความเสี่ยงต่างๆ ข้างต้น และคำนวณตัวเลขแสดงลำดับของความเสียหาย (Risk Priority Number: RPN) ที่บ่งชี้ความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีต่อปัญหาจากสมการที่ 3.7

$$RPN = S \times O \times D \quad (3.7)$$

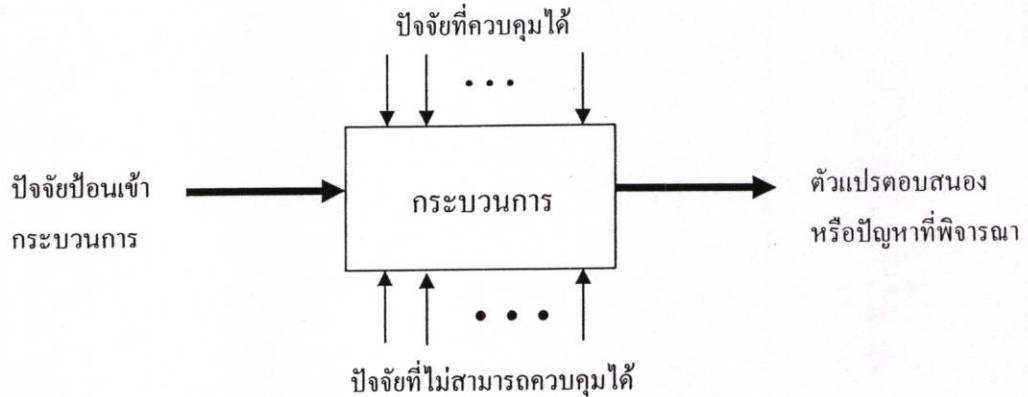
โดยทั่วไป ค่า S, O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1-10 ถ้าตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงซึ่งเป็นผลคูณของ S, O และ D มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1 หมายความว่าความรุนแรงของผลกระทบและโอกาสของการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีน้อยมาก เพราะระบบควบคุมในกระบวนการผลิตสามารถตรวจสอบลักษณะของข้อบกพร่องนี้ได้ก่อนส่งมอบ แต่ถ้าตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,000 หมายความว่าความรุนแรงของผลกระทบและโอกาสของการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีมาก เพราะไม่มีระบบการตรวจจับในกระบวนการผลิต จึงต้องหยุดกระบวนการเพื่อแก้ไข จากตัวอย่างการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพงานพ่นสีข้างต้น เมื่อทีมงานได้ประเมินค่าความเสี่ยงของการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ พบว่าปัจจัยความเข้มข้นของสารเคมีไม่เหมาะสมมีความเสี่ยงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานพ่นสีมากกว่าปัจจัยแรงดันของหัวฉีดน้ำที่ต่ำเกินไป ทีมงานจึงให้ความสำคัญในการแก้ไขปัญหาปัจจัยความเข้มข้นของสารเคมีที่ไม่เหมาะสมก่อน โดยการหาค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมที่จะทำให้ผิวชิ้นงานเรียบสวยงาม นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมจัดการกับปัจจัยในกระบวนการที่มีผลทำให้ความเข้มข้นของสารเคมีไม่เหมาะสม

การประเมินความเสี่ยงของโอกาสการเกิดลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ และลักษณะของข้อบกพร่องนั้นต่อปัญหานั้นขึ้นกับการวินิจฉัยของทีมงานและกฎเกณฑ์ที่กำหนด ในกรณีที่ต้องพิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการจำนวนมาก อาจใช้แผนภูมิพารโดในการลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการนั้น โดยอาจดูจากเปอร์เซ็นต์สะสมของค่า RPN และกำหนดมาตรการแก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อลดหรือกำจัดลักษณะของข้อบกพร่องตามลำดับความสำคัญ

3.5 หลักการพื้นฐานและขั้นตอนการออกแบบการทดลอง [3, 7]

ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุที่คาดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือปัญหาอาจเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (controllable factor) เช่น ความเร็วของเครื่องบรรจุ ความเบี่ยงเบนของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า หรือเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (uncontrollable factor)

หรือปัจจัยรบกวน (noise) เช่น แรงสั่นสะเทือนของเครื่องบรรจุ รูปที่ 3.9 แสดงปัจจัยต่างๆ ที่ป้อนเข้ากระบวนการและตัวแปรตอบสนองหรือปัญหาที่พิจารณา



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ [7]

แนวทางการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องมีการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติและได้ข้อสรุปของการทดลองเพื่อนำไปปฏิบัติ หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองมี 3 ประการ คือ

1. การทำซ้ำ (replication) คือ การทดลองซ้ำเพื่อกำจัดผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป และสามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับการทดลอง เพราะถ้าเพิ่มจำนวนการทดลองที่ทำซ้ำให้มากขึ้น ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร ทำให้ข้อมูลจากการทดลองน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. การทำแบบสุ่ม (randomization) คือ การลำดับการเก็บข้อมูลการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม เพื่อกำจัดปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ รวมทั้งความลำเอียงและความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติงานของผู้ทดลอง การทดลองแบบสุ่มเป็นแบบที่ง่ายและไม่จำกัดตัวอย่างที่ถูกสุ่มออกมาจากกระบวนการ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อกลุ่มตัวอย่างที่ถูกสุ่มออกมาต้องมีความสม่ำเสมอหรือเหมือนกันหมด จึงเป็นการยากสำหรับการปฏิบัติหรือทดลองจริง

3. การบล็อก (blocking) คือ การจัดกลุ่มการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การทดลองมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การทดลองแบบนี้มักใช้เมื่อปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการไม่มีความสม่ำเสมอ เช่น การจัดกลุ่มของการเก็บข้อมูลระหว่างกะของพนักงาน เพราะต้องการจำกัดความแปรผันเนื่องจากความชำนาญของพนักงานแต่ละกะที่ไม่เท่ากัน และกำหนดให้หนึ่งบล็อกของกลุ่มข้อมูลคือข้อมูลจากการเก็บหรือตรวจวัดของพนักงานประจำกะนั้นๆ เป็นต้น

การใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ผู้ทดลองต้องเข้าใจอย่างชัดเจนว่ากำลังศึกษาอะไร จะเก็บข้อมูลอย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บมาอย่างไร ขั้นตอนของการดำเนินงานตามแนวทางการออกแบบการทดลองประกอบด้วย

1. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปรตอบสนองหรือปัญหา เพื่อตั้งวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. เลือกและกำหนดปัจจัย (factor) และระดับของปัจจัย (level of factor) ประเภทของปัจจัยแบ่งเป็น

- ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการหรือสาเหตุ หมายถึง ตัวแปรต้น (independent variable) หรือสิ่งที่คาดว่าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองและนำมาพิจารณาในการทดลอง ในงานวิจัยนี้ปัจจัยที่พิจารณา เช่น น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า สภาพและสภาวะการทำงานของโหลดเซลล์ของเครื่องบรรจุ เฟอร์นิเจอร์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ การทำงานและสภาพของหัวบรรจุที่เครื่องบรรจุ เป็นต้น

- ปัจจัยรบกวน หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองแต่อาจไม่ได้พิจารณาในการทดลอง เช่น การสั่นสะเทือนของเครื่องบรรจุขณะบรรจุผลิตภัณฑ์

- ระดับของปัจจัย หมายถึง ระดับของสภาวะต่างๆ ของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ทุกปัจจัยที่ใช้ในการทดลองต้องมีระดับของปัจจัยอย่างน้อยสองปัจจัย เช่น ในงานวิจัยนี้ตัวอย่างของปัจจัยที่พิจารณา คือ ผลของการทำงานและสภาพของหัวบรรจุที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีระดับของปัจจัย 8 ระดับ คือ จำนวนของหัวบรรจุทั้งหมดของเครื่องบรรจุที่ศึกษา

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ศึกษาได้ และจะวัดค่าของตัวแปรตอบสนองได้อย่างไร ตัวแปรตอบสนองอาจมีเพียงค่าเดียวหรือหลายค่าก็ได้ ในงานวิจัยนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ ความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ

4. เลือกการออกแบบการทดลองเพื่อการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมินิแทป ซึ่งต้องพิจารณาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ และเลือกลำดับของการทดลอง จนถึงการตัดสินใจว่าควรเลือกใช้วิธีแบบสุ่มหรือแบบบล็อกในการเก็บข้อมูล

5. ทดลอง ในการเก็บข้อมูลการทดลองควรกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อให้เป็นแบบแผนเดียวกันทุกครั้ง และควรตรวจติดตามขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดข้อผิดพลาดในการทดลอง

6. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เป็นการประยุกต์วิธีการทางสถิติมาเปรียบเทียบกับความรู้พื้นฐาน ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และความรู้ทางวิศวกรรม เช่น การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบในการสรุปเหตุผลที่น่าเชื่อถือของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนอง

อาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น โปรแกรมมินิแทป โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)

7. สรุปและเสนอแนะ ผู้ทดลองต้องเลือกแนวทางการปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และสรุปผลเพื่อยืนยันความถูกต้องของการทดลองและให้ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

3.6 การประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป [3-9]

โปรแกรมมินิแทปเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผลหรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองตามหลักการทางสถิติ ขั้นตอนการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป เริ่มจากการตั้งสมมติฐาน (hypothesis) จากปัญหาที่ต้องการทดสอบ และกำหนดระดับนัยสำคัญ (significant level: α) ก่อนดำเนินการทดลองภายใต้รูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

3.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (test of hypothesis) [3-4]

จุดประสงค์ของการตั้งสมมติฐาน คือ เพื่อยืนยันนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองที่พิจารณา การกำหนดสมมติฐานของการตัดสินใจ ประกอบด้วยสมมติฐานหลัก (null hypothesis: H_0) และสมมติฐานอื่น (alternative hypothesis: H_a) การตั้งสมมติฐานหลักเพื่อแสดงว่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญที่พิจารณา สำหรับการตั้งสมมติฐานอื่นๆ เป็นการสร้างสมมติฐานเพื่อแย้งกับสมมติฐานหลัก คือ เพื่อแสดงว่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีนัยสำคัญต่อแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญที่พิจารณา

ตัวอย่างเช่น การศึกษาความแตกต่างของความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตต่างกัน ทีมงานมีความคิดเห็นว่าถ้าใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่แล้วความหนืดของครีมอาบน้ำยังคงอยู่ในช่วงขอบเขตควบคุม ทีมงานจะเปลี่ยนไปใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่แทนผู้ผลิตรายเดิม เนื่องจากราคาของสารเคมีตัวใหม่จากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่ถูกกว่า จึงออกแบบการทดลองโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายเดิม และสารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่

กำหนด

H_0 : สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่ไม่มีนัยสำคัญต่อความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อเทียบกับค่าความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายเดิม

H_a : สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่มีนัยสำคัญต่อความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อเทียบกับค่าความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายเดิม

และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายเดิม
 μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของความหนืดของครีมอาบน้ำเมื่อใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายใหม่

ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้า กระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองจะใช้สถิติทดสอบ (test statistic) ต่างๆ [3-4] เช่น

- ก. สถิติทดสอบแบบ Z
- ข. สถิติทดสอบแบบ t test
- ค. สถิติทดสอบแบบ F distribution
- ง. พิจารณาจากค่า P-Value (probability value)

การเลือกใช้สถิติทดสอบประเภทใดขึ้นอยู่กับจำนวนของกลุ่มข้อมูล เช่น ถ้าจำนวนข้อมูลมากกว่า 30 ข้อมูล จะใช้สถิติทดสอบแบบ Z แต่ถ้าจำนวนข้อมูลน้อยกว่า 30 ข้อมูล จะใช้สถิติทดสอบแบบ t test สำหรับสถิติทดสอบที่ใช้ F distribution จะใช้ในการเปรียบเทียบค่าสถิติทดสอบ F_0 ที่คำนวณได้กับค่า F_{α, v_1, v_2} ที่ได้จากการเปิดตารางการกระจายแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญที่พิจารณาเท่ากับ α ที่ขึ้นของความอิสระระหว่างกลุ่มข้อมูล (v_1) และขึ้นของความอิสระภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน (v_2) ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับสถิติทดสอบที่ใช้ F distribution สามารถดูได้จากหัวข้อการวิเคราะห์ความแปรปรวน ตัวอย่างของตาราง F distribution แสดงในภาคผนวก ข. ส่วนใหญ่ในการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีต่อตัวแปรตอบสนองนิยมพิจารณาจากค่า P-Value เพราะไม่ยุ่งยาก

P-Value คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญต่างๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับงานวิจัยที่ต้องการความถูกต้องมากๆ อาจใช้ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.01$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ P-Value ในการพิจารณาความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

ถ้า P-Value มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่เลือกพิจารณา กล่าวได้ว่าสมมติฐานหลักเป็นจริง ซึ่งหมายความว่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่พิจารณาไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

ถ้า P-Value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่เลือกพิจารณา จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเพื่อยอมรับสมมติฐานอื่น และกล่าวได้ว่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่พิจารณามีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ในกรณีการเลือกสารเคมีที่กล่าวมาจะหมายความว่า สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิต

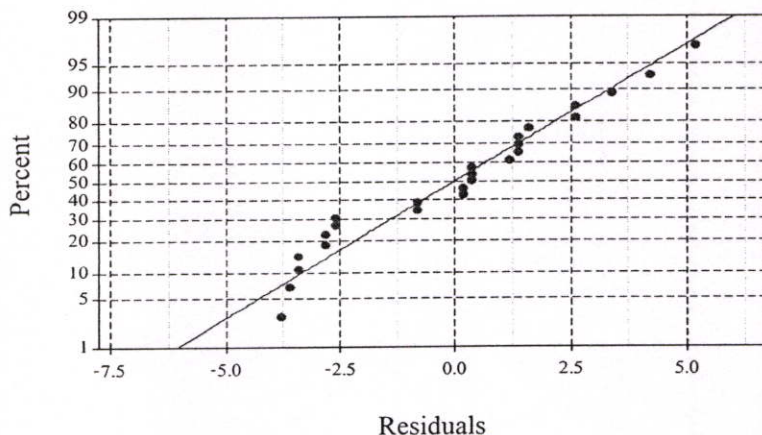
รายใหม่มีนัยสำคัญต่อความหนืดของครีมอาบน้ำ เช่น อาจมีผลทำให้ความหนืดของครีมอาบน้ำไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นทีมงานจึงต้องใช้สารเคมีจากบริษัทผู้ผลิตรายเดิมต่อไป

ทั้งนี้เมื่อกำหนดสมมติฐานและระดับนัยสำคัญที่พิจารณาแล้ว จึงเริ่มทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ แต่ข้อมูลที่ได้จากการทดลองต้องเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ จึงจำเป็นต้องตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (residual model diagnostics) ของข้อมูล

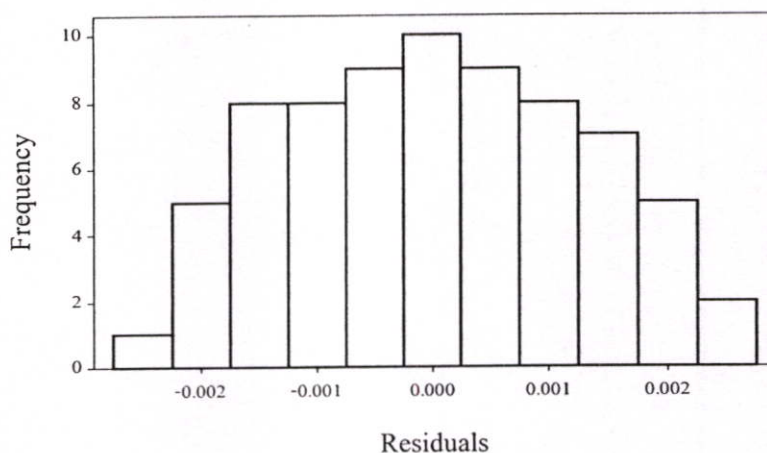
3.6.2 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง [3-4, 7-8]

เพื่อยืนยันความถูกต้องและเชื่อถือได้ของข้อมูลที่วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองจะต้องตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล ซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ

3.6.2.1 การตรวจสอบความเป็นปกติ (normality) ของข้อมูล โดยการสร้าง normal probability plot ของส่วนตกค้าง ดังรูปที่ 3.10 ถ้าการกระจายของส่วนตกค้างเป็นแบบปกติ แนวโน้มของเส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง หรือดูได้จากแผนภูมิฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง ดังรูปที่ 3.11 ในกรณีที่ขนาดกลุ่มข้อมูลมากกว่า 30 ข้อมูล ถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ แผนภูมิฮิสโตแกรมจะมีลักษณะระฆังคว่ำแบบสมมูล

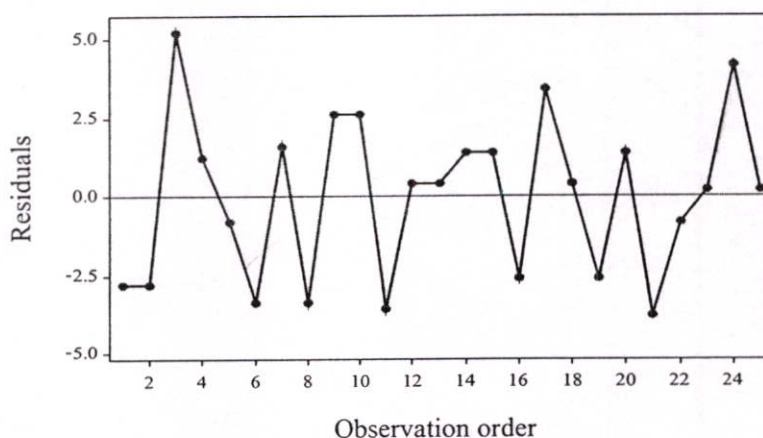


รูปที่ 3.10 ตัวอย่างกราฟ normal probability plot ของส่วนตกค้างแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ [4]



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างแสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ [4]

3.6.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (independence) ของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (observation order) ถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่ม คือ การกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบใดที่แน่นอน เช่น ไม่มีแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอดในช่วงหนึ่งของการทดลอง ดังรูปที่ 3.12 แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างแผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล [4]

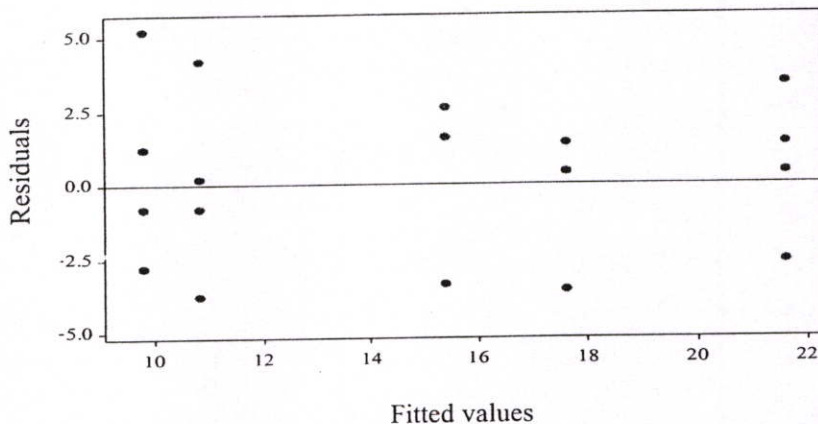
3.6.2.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (variance stability) ของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ควรจะเป็น (fitted value) ของตัวแปรตอบสนอง ถ้าการกระจายของส่วนตกค้างมีความเบี่ยงเบน (deviation) อย่าง

สม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังรูปที่ 3.13 แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ

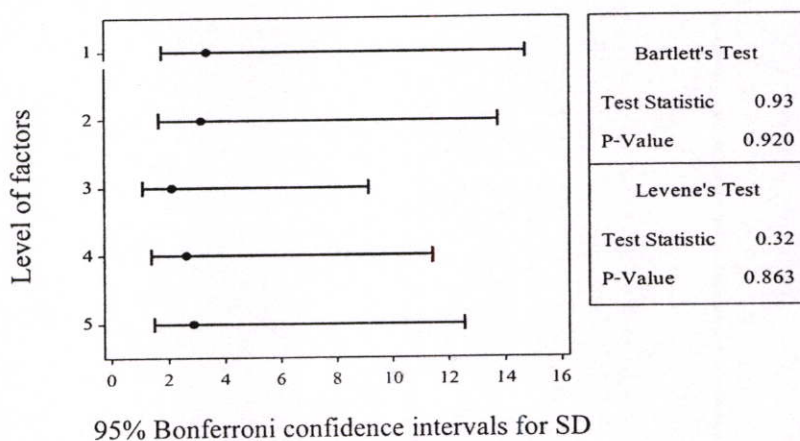
ดังนั้นถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่ามีความพอเพียงของแบบจำลอง และข้อมูลที่ได้อาจมีความน่าเชื่อถือ แต่ถ้าไม่เป็นดังกล่าว อาจเนื่องจากวิธีการเก็บข้อมูลมีความผิดพลาดหรือไม่เหมาะสม จะต้องออกแบบการทดลองใหม่และเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ผลใหม่

ในกรณีที่การพิจารณาด้วยแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง ไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพหรือไม่ ต้องตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (test for equal variance) จากค่า P-Value ที่ได้จากการทดสอบทางสถิติวิธีต่างๆ เช่น วิธีของ Bartlett หรือ วิธีของ Levene วิธีของ Bartlett ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ สำหรับวิธีของ Levene ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ [4] การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลพิจารณาโดยเทียบค่า P-Value ที่ได้กับระดับนัยสำคัญที่พิจารณา เช่น ถ้าค่า P-Value มากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่พิจารณา ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ที่ $\alpha = 0.05$ แสดงว่าช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (confidence interval for standard deviation) ของข้อมูลแต่ละระดับของปัจจัยมีช่วงคาบเกี่ยวหรือเหลื่อมล้ำกัน สรุปได้ว่าข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ และถ้าค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่พิจารณา แสดงว่าไม่มีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังผลในรูปที่ 3.10-3.11 ดังนั้นจึงใช้วิธีของ Bartlett ยืนยันความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล ดังรูปที่ 3.14 พบว่า P-Value มีค่า 0.92 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ ที่ระดับปัจจัยที่ 1 มีช่วงคาบเกี่ยวกับช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับปัจจัยที่ 2-5 (รูปที่ 3.14 ช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับปัจจัยที่ 1 มีค่าระหว่าง 2-15 และของระดับปัจจัยที่ 2-5 มีค่าระหว่าง 2-14, 1-9, 1-11, 1.5-12.5 ตามลำดับ) จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่วิเคราะห์มีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างกับค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง แสดงความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมีเสถียรภาพ [4]



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแผนภาพ test for equal variance ที่ข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ [4]

3.6.3 การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ (2-sample t test) [3-4]

กำหนด x และ y คือ กลุ่มประชากรที่สนใจ ซึ่งมีการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ กำหนด μ_x และ σ_x คือ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร x และ μ_y และ σ_y คือ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร y ตามลำดับ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ต้องการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มข้อมูล จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร ทำการตรวจสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มี 2 ระดับต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญที่พิจารณา กำหนดสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณาไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

H_a : ปัจจัยที่พิจารณามีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

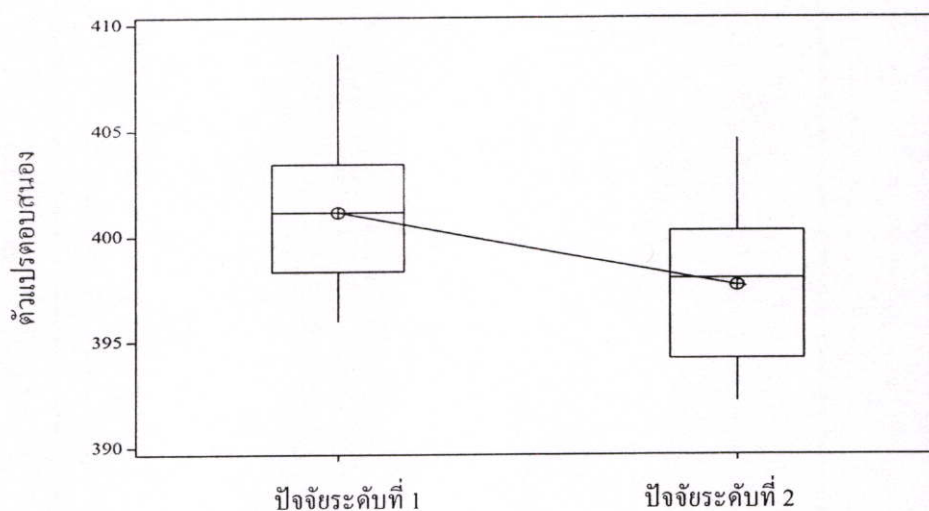
$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยที่ 1

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยที่ 2

การประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทปจะใช้แผนภาพกล่องแสดงความแตกต่างของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยทั้ง 2 ระดับ รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (แกน x) กับตัวแปรตอบสนอง (แกน y) พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยที่ 1 สูงกว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยที่ 2 ถ้าค่า P-Value ที่ได้จากการประมวลผลน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่เลือกพิจารณา จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเพื่อยอมรับสมมติฐานอื่น ซึ่งหมายความว่าปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่พิจารณามีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 3.15 แผนภาพกล่องแสดงผลของระดับของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนอง [4]

3.6.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) [3-9]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการพิจารณานัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนอง นิยมใช้ทดสอบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่มีปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการปัจจัยเดียว (single-factor analysis of variance หรือ one-way ANOVA) ที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับ โดยเก็บข้อมูลการทดลองแบบสุ่ม เพื่อกำจัดปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้และความลำเอียงและความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติงานของผู้ทดลอง ตัวอย่างปัจจัยที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ที่มีมากกว่า 3 ระดับขึ้นไป คือ การทำงานและสภาพของหัวบรรจุทั้ง 8 หัวบรรจุ ดังนั้นระดับของปัจจัยเท่ากับ 8 ระดับ ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวที่มี a ระดับ

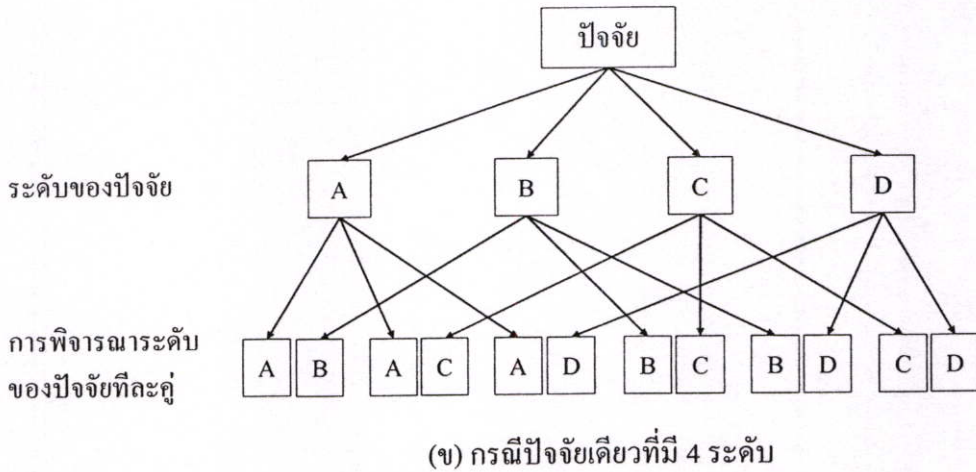
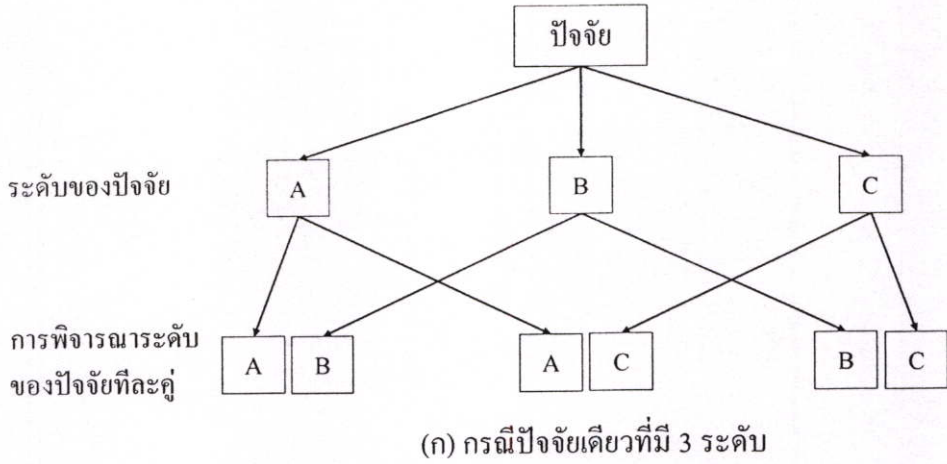
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว [3]

ระดับของปัจจัย	ค่าของตัวแปรตอบสนอง	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
1	$y_{11} \quad y_{12} \quad \dots \quad y_{1n}$	$y_{1\cdot}$	$\bar{y}_{1\cdot}$
2	$y_{21} \quad y_{22} \quad \dots \quad y_{2n}$	$y_{2\cdot}$	$\bar{y}_{2\cdot}$
\vdots	$\vdots \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots$	\vdots	\vdots
a	$y_{a1} \quad y_{a2} \quad \dots \quad y_{an}$	$y_{a\cdot}$	$\bar{y}_{a\cdot}$
		$y_{\cdot\cdot}$	$\bar{y}_{\cdot\cdot}$

เมื่อ y_{ij} แทนค่าตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัย (i) มีทั้งหมด a ระดับ และ j แทนค่าจำนวนของข้อมูลในแต่ละระดับของปัจจัย มีทั้งหมด n จำนวน

อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับ ถ้าต้องการพิจารณาความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยต่างๆ ด้วยวิธี 2-sample t test ซึ่งปกติใช้สำหรับกรณีระดับของปัจจัย 2 ระดับ ก็สามารถทำได้ แต่ต้องพิจารณาผลของระดับของปัจจัยนั้นที่ละคู่ ตัวอย่างการประมวลผลปัจจัยเดียวที่มี 3 และ 4 ระดับ แสดงดังรูปที่ 3.16

ในกรณีที่มีปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ 2 ปัจจัย ที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 2 ระดับ การพิจารณาความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยต่างๆ จะใช้เครื่องมือทางสถิติ two-way ANOVA และถ้ามีปัจจัย k ปัจจัย ที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 2 ระดับ จะวิเคราะห์ด้วย k -way ANOVA [9] ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (factorial design)



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการประมวลผลปัจจัยเดียวที่มี 3 และ 4 ระดับ ด้วยวิธี 2-sample t test

ในการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่พิจารณาปัจจัยเดียวที่มี a ระดับ ต่อตัวแปรตอบสนอง นำข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.3 มาตรวจสอบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองในแต่ละระดับของปัจจัย กำหนดสมมติฐานดังนี้

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณาไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

H_a : ปัจจัยที่พิจารณามีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

และตั้งสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_a$$

โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับของปัจจัยที่ i
 i คือ ระดับของปัจจัย (เมื่อ $i = 1, \dots, a$)

ความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูล (ค่าของตัวแปรตอบสนอง) ที่แยกออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันมี 2 ประเภท คือ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มข้อมูล และความแปรปรวนภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน ซึ่งพิจารณาด้วยผลรวมของกำลังสองของข้อมูลทั้งหมด (sum of square for total: SS_T) ดังสมการที่ 3.8

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (3.8)$$

โดยที่ i คือ จำนวนของระดับของปัจจัย (เมื่อ $i = 1, \dots, a$)
 j คือ จำนวนของข้อมูลในแต่ละระดับของปัจจัย (เมื่อ $j = 1, \dots, n$)
 N คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด ($N = a \times n$)

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มข้อมูลวัดจากผลรวมของกำลังสองระหว่างกลุ่มข้อมูล (sum of square for treatments: $SS_{Treatments}$) เกิดจากความแตกต่างของค่าของตัวแปรตอบสนองในแต่ละระดับ คำนวณได้จากสมการที่ 3.9

$$SS_{Treatments} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (3.9)$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกันวัดจากผลรวมของกำลังสองภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน (sum of square for error: SS_E) เกิดจากความผิดพลาดในการทดลอง จึงอาจเรียกว่าผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากความผิดพลาด คำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatments} \quad (3.10)$$

เมื่อหารผลรวมของกำลังสองของทั้งระหว่างกลุ่มข้อมูลและภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกันด้วยองศาของความอิสระ (degree of freedom: DF) ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (mean square: MS) ดังสมการที่ 3.11

$$MS = \frac{SS}{DF} \quad (3.11)$$

โดยที่ sum of square (SS) คือ ผลรวมกำลังสอง
 degree of freedom (DF) คือ ระดับหรือองศาของความอิสระ เช่น v_1 และ v_2

เมื่อ	v ₁	คือ ชั้นของความอิสระระหว่างกลุ่มข้อมูล มีค่าเท่ากับ a - 1
	v ₂	คือ ชั้นของความอิสระภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน หรือชั้นของความอิสระของความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ [a(n - 1)] หรือ N - a

สมการที่ 3.9 และ 3.10 สามารถแปลงให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยกำลังสองได้ดังนี้

$$MS_{\text{Treatments}} = \frac{SS_{\text{Treatments}}}{(a - 1)} \quad (3.12)$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{[a(n - 1)]} \quad (3.13)$$

โดยที่	mean square for treatments ($MS_{\text{Treatments}}$)	คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างกลุ่มข้อมูล
	mean square for error (MS_E)	คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน หรือค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนตกค้างหรือความผิดพลาด

สถิติทดสอบ โดยใช้ F distribution พิจารณาค่าเฉลี่ยกำลังสองของปัจจัยป้อนเข้า กระบวนการกับตัวแปรตอบสนอง โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างกลุ่มข้อมูล และค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน ดังในสมการที่ 3.14

$$F_o = \frac{SS_{\text{Treatments}} / (a - 1)}{SS_E / [a(n - 1)]} = \frac{MS_{\text{Treatments}}}{MS_E} \quad (3.14)$$

และถ้าได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.15 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่กำลังพิจารณามีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

$$F_o > F_{\alpha, v_1, v_2} \quad (3.15)$$

โดยที่ α คือ ระดับนัยสำคัญที่พิจารณา โดยทั่วไปนิยมใช้ที่ 0.05

F_{α, v_1, v_2} ได้จากการเปิดตารางการกระจายแบบ F (F distribution) ตัวอย่างการใช้ตารางการกระจายแบบ F แสดงในภาคผนวก ข. [7]

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว [3]

Source of variation	Degrees of freedom (DF)	Sum of square (SS)	Mean square (MS)	F_o
Treatments	$a - 1$	$SS_{\text{Treatments}}$	$MS_{\text{Treatments}}$	$\frac{MS_{\text{Treatments}}}{MS_E}$
Error	$a(n - 1)$	SS_E	MS_E	
Total	$an - 1$	SS_T		

ในงานวิจัยนี้จะใช้ P-Value ในการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อตัวแปรตอบสนองดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งค่า P-Value ได้จากการประมวลผลทางสถิติด้วยโปรแกรมมินิแทป

3.6.5 การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) [3-6]

การวิเคราะห์การถดถอย หรือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการและตัวแปรตอบสนอง และใช้แบบจำลองการถดถอยหรือสมการความสัมพันธ์ในการประมาณค่าตัวแปรตอบสนองเมื่อทราบค่าของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ แบบจำลองการถดถอยถูกนำมาใช้บ่อยในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองที่ไม่ได้มีการวางแผนล่วงหน้า ซึ่งอาจเกิดขึ้นในกรณีของการเก็บข้อมูลในสถานะที่มีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปร k ตัว (multiple linear regression model with k regressor variables) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.16

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (3.16)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรตาม (dependent variable)

x_i คือ ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ หรือตัวแปรอิสระ (independent variable) หรือเรียกว่าตัวแปรทำนาย (predictor variable) หรือตัวถดถอย (regressor) (เมื่อ $i = 1, \dots, k$) ในที่นี้จะใช้คำว่าปัจจัย

β_j คือ พารามิเตอร์ หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient)

(เมื่อ $j = 0, 1, \dots, k$)

ϵ คือ ผลจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือความผิดพลาด (random error term)

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในแบบจำลองการถดถอยเป็นตัวเลขที่แสดงการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับปัจจัย จากสมการที่ 3.16 ผลที่จะเกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองขึ้นกับ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ และการเปลี่ยนแปลงของ x_1, x_2, \dots, x_k สามารถใช้หลักการทางคณิตศาสตร์โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (least square method) ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย [3] หรือใช้การประมวลผลโดยโปรแกรมมินิแทป

แบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณเป็นแบบจำลองการถดถอยที่มีความซับซ้อนที่พิจารณาเทอมอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่สนใจในแบบจำลองด้วย สมการที่ 3.17 แสดงแบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณที่มีเทอมของอันตรกิริยาซึ่งมี 2 ตัวแปร (β_{12}) ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (3.17)$$

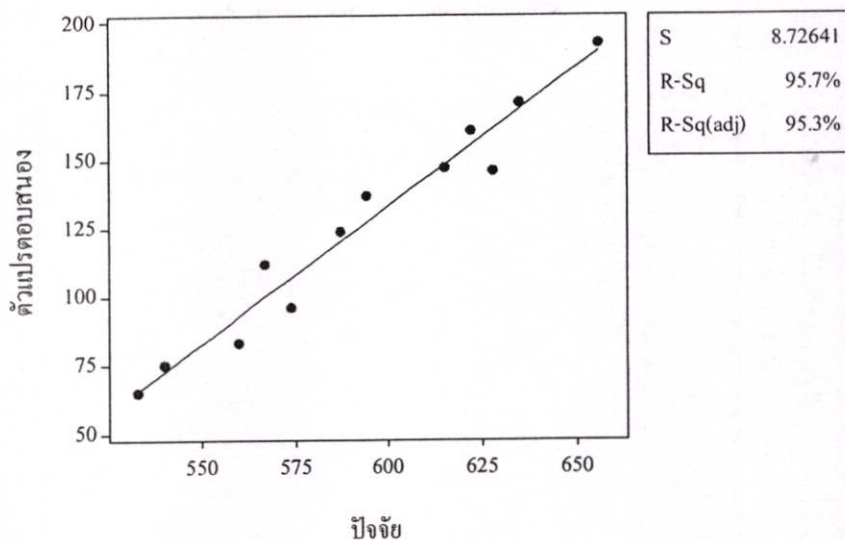
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณ [3]

y	x ₁	x ₂	...	x _k
y ₁	x ₁₁	x ₁₂	...	x _{1k}
y ₂	x ₂₁	x ₂₂	...	x _{2k}
⋮	⋮	⋮		⋮
y _n	x _{n1}	x _{n2}	...	x _{nk}

โดยที่ y_n คือ ตัวแปรตอบสนองที่ระดับ n

x_{nk} คือ ปัจจัย x_k ที่ระดับของตัวแปรตอบสนอง n

ก่อนตัดสินใจเลือกรูปแบบของแบบจำลองการถดถอย นิยมใช้แผนภาพการกระจาย (scatter plot) ศึกษาแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่พิจารณากับตัวแปรตอบสนอง โดยเส้นที่ลากผ่านจุดต่างๆ บนแผนภาพการกระจาย เรียกว่า เส้นถดถอย (regression line) ดังรูปที่ 3.17 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) คือค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองจากปัจจัยที่พิจารณาในแบบจำลอง การยอมรับว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ ค่า R^2 ควรมีค่าสูง หรือมีค่าใกล้เคียงกับค่า R^2 (adj) ซึ่งแสดงว่าปัจจัยที่พิจารณามีนัยสำคัญอย่างแท้จริงต่อตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 3.17 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองมีลักษณะแบบเส้นตรง ด้วยค่า R^2 เท่ากับ 95.7%



รูปที่ 3.17 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปีจชัยและตัวแปรตอบสนอง [4]

แนวทางในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เริ่มจากสมการที่ 3.16 โดยเขียนให้อยู่ในรูปของข้อมูลจากตารางที่ 3.5 ได้ดังสมการที่ 3.18

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i$$

หรือ

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \epsilon_i \quad \text{เมื่อ } i=1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

ฟังก์ชันกำลังสองน้อยที่สุด (L) แสดงดังสมการที่ 3.19

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)^2 \quad (3.19)$$

ฟังก์ชัน L ถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุดที่ค่า $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ ดังนั้นตัวประมาณกำลังสองน้อยที่สุด (least square estimator) คือ $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ เป็นไปตามสมการที่ 3.20

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_0} \Big|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij} \right) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_j} \Big|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_{ij} \right) x_{ij} = 0 \quad \text{เมื่อ } j=1, 2, \dots, k \quad (3.20)$$

เมื่อทำสมการที่ 3.20 ให้อยู่ในรูปแบบง่าย จะได้

$$n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik} = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} = \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i$$

$$\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 = \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \quad (3.21)$$

สมการที่ 3.21 เรียกว่า สมการปกติกำลังสองน้อยสุด (least square normal equation) คำคำตอบที่ได้จากสมการที่ 3.21 คือ ตัวประมาณกำลังสองน้อยสุดของสัมประสิทธิ์การถดถอย ($\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$) ในการประมาณค่าตัวประมาณกำลังสองน้อยสุดของสัมประสิทธิ์การถดถอยจากสมการที่ 3.21 อย่างง่ายทำได้โดยใช้เมทริกซ์ ดังสมการที่ 3.22

$$y = x\beta + \epsilon \quad (3.22)$$

$$\text{โดยที่ } y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

- เมื่อ y คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีขนาด $(n \times 1)$
 x คือ เมทริกซ์ของปัจจัย ซึ่งมีขนาด $(n \times k)$
 β คือ เวกเตอร์ของสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งมีขนาด $(k \times 1)$
 ϵ คือ เวกเตอร์ของผลจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือความผิดพลาด ซึ่งมีขนาด $(n \times 1)$

สมการที่ 3.21 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{ik} \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

จากสมการที่ 3.19 และ 3.22 จะได้สมการที่ 3.24

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \epsilon' \epsilon = (y - x\beta)'(y - x\beta)$$

หรือ
$$L = y'y + \beta'x'y - y'x'\beta + \beta'x'x\beta \quad (3.24)$$

พิจารณาเวกเตอร์ของตัวประมาณกำลังสองน้อยสุดของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ทำให้สมการที่ 3.24 มีค่าน้อยสุด และเนื่องจากตัวสลับเปลี่ยน (transpose) ของ $(\beta'x'y)' = y'x\beta$ เป็นแบบสเกลาร์ ดังนั้นสมการที่ 3.24 สามารถลดรูปได้สมการที่ 3.25 และตัวประมาณกำลังสองน้อยสุดจะแสดงได้ดังสมการที่ 3.26

$$L = y'y - 2\beta'x'y + \beta'x'x\beta \quad (3.25)$$

$$\left. \frac{\partial L}{\partial \beta} \right|_{\hat{\beta}} = -2x'y + 2x'x\hat{\beta} = 0 \quad (3.26)$$

สมการที่ 3.26 สามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบง่าย คือ

$$x'x\hat{\beta} = x'y \quad (3.27)$$

สมการที่ 3.27 เป็นสมการปกติกำลังสองน้อยสุดในรูปเมทริกซ์ ในการแก้สมการที่ 3.27 ให้คูณทั้งสองข้างของสมการด้วยอินเวอร์สของ $x'x$ ดังนั้นจะได้ตัวประมาณกำลังสองน้อยสุดของสัมประสิทธิ์การถดถอยดังสมการที่ 3.28

$$\hat{\beta} = (x'x)^{-1} x'y \quad (3.28)$$

สำหรับการทดสอบความมีนัยสำคัญของการวิเคราะห์การถดถอย หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยป้อนเข้า กระบวนการและตัวแปรตอบสนอง และระบุความมีนัยสำคัญของปัจจัยอย่างน้อยหนึ่งตัวต่อแบบจำลองนั้น ใช้สถิติทดสอบแบบ F distribution หรือค่า P-Value ในงานวิจัยนี้จะใช้ P-Value

ถ้าใช้สถิติทดสอบแบบ F distribution จะต้องเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองหรือการถดถอย (MS_R) กับค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนตกค้างหรือความผิดพลาด (MS_E) ดังสมการที่ 3.29 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ F_o ที่คำนวณได้กับค่า F_{α, v_1, v_2} ซึ่งได้จากตารางการกระจายแบบ F ถ้าได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.30 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่พิจารณาอย่างน้อยหนึ่งตัวในแบบจำลองการถดถอยมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

$$F_o = \frac{MS_R}{MS_E} \quad (3.29)$$

$$F_o > F_{\alpha, v_1, v_2} \quad (3.30)$$

โดยที่

$$MS_R = \frac{SS_R}{k} \quad (3.31)$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{(n-k-1)} \quad (3.32)$$

เมื่อ k คือ จำนวนของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ

n คือ จำนวนของตัวแปรตอบสนอง

$$\text{และ} \quad SS_R = \hat{\beta}' x' y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \quad (3.33)$$

$$SS_E = y'y - \hat{\beta}' x' y \quad (3.34)$$

ส่วนมากจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณและประมวลผล ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมมินิแทป คำนวณสมการที่ 3.29, 3.31-3.34 ตัวแปรที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปเพื่อการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอย สรุปดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอย [3]

Source of variation	Degrees of freedom (DF)	Sum of square (SS)	Mean square (MS)	F_o
Regression	$v_1 = k$	SS_R	MS_R	$\frac{MS_R}{MS_E}$
Error	$v_2 = n-k-1$	SS_E	MS_E	
Total	$n-1$	SS_T		

โดยที่ $SS_T = SS_R + SS_E$

และ $SS_T = y'y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$

3.7 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) [4, 25, 28]

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานต้องใช้เครื่องมือวัดต่างๆ หรือเงาในการวัดสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป รวมทั้งตัวแปรต่างๆ ภายในกระบวนการ เช่น เวลาในการผสมวัตถุดิบ ความเร็วรอบของใบกวนในการผสม เป็นต้น ดังนั้นเพื่อยืนยันคุณภาพของผลิตภัณฑ์และวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานว่าสอดคล้องกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และมาตรฐานการปฏิบัติงาน จำเป็นต้องลดความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด เพื่อให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงของสิ่งที่วัดมากที่สุด ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นไปคาดการณ์ปัญหาที่จะเกิดขึ้นและหามาตรการในการแก้ปัญหา

ความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด (gross error) มักเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัดหรือเงาและวิธีการวัดของพนักงานวัด ทำให้เลือกใช้เครื่องมือวัดหรือเงาไม่ถูกต้อง รวมถึงการอ่านค่าผิดพลาด การกำจัดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้สามารถทำได้โดยการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงาน คือ กำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน ตลอดจนฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัดหรือเงา การบำรุงรักษาเครื่องมือวัดหรือเงา

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดหรือเงาผิดวิธี ดังนั้นการกำจัดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ทำได้โดยการสอบเทียบเครื่องมือวัดหรือเงาอย่างถูกวิธีจากผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ นอกจากนี้อาจเกิดจากการใช้เครื่องมือวัดหรือเงาในช่วงการวัดที่ไม่เหมาะสม เช่น เครื่องมือบันทึกสัญญาณมีความถูกต้อง $\pm 2\%$ ของค่าเต็ม

สเกล แต่ถ้านำไปใช้งานนอกช่วงจำกัดที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ จะทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความผิดพลาด [28] ดังนั้นควรเลือกใช้เครื่องมือวัดหรือเกจในช่วงการวัดที่เหมาะสม เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบการวัด

3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error) เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่ต้องการวัดไม่คงที่ เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนจากเครื่องจักร แก้ไขได้โดยใช้อุปกรณ์จับยึดงาน (fixture) ในการจับชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่จะวัด

คุณสมบัติขั้นมูลฐานของระบบการวัด มีดังนี้ [25]

1. ความไว (sensitivity) และความสามารถแยกแยะความแตกต่าง (discrimination) ของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ กล่าวคือ สเกลของเครื่องมือวัดหรือเกจควรมีความละเอียดเพียงพอที่จะวัดค่าความเบี่ยงเบนของผลิตภัณฑ์ หรือมีการแยกชัด (resolution) เช่น กรณีที่เครื่องมือวัดหรือเกจมีความละเอียดหรือหน่วยที่เล็กที่สุดในการวัด 1 ใน 1,000 (หรือ 0.001) แสดงว่าเครื่องมือวัดหรือเกจสามารถแยกแยะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม เช่น 0.140, 0.143 และ 0.137 สำหรับเครื่องมือวัดหรือเกจที่มีความละเอียดหรือหน่วยที่เล็กที่สุดในการวัด 1 ใน 100 (หรือ 0.01) เครื่องมือวัดหรือเกจไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม ดังนั้นเครื่องมือวัดหรือเกจดังกล่าวสามารถวัดผลิตภัณฑ์ 3 ชิ้นข้างต้นได้ดังนี้ 0.14, 0.14 และ 0.14 จะใช้ตัวเลขแสดงประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกัน (number of distinct categories: ndc) เป็นตัวชี้บ่งความสามารถของเครื่องมือวัดหรือเกจในการแยกแยะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปกำหนดว่าถ้าค่า ndc มากกว่า 3 แสดงว่าเครื่องมือวัดหรือเกจที่ใช้มีการแยกชัดที่เหมาะสม [4]

2. ระบบการวัดควรอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ คือ ระบบการวัดที่ใช้ต้องดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่สามารถวัดซ้ำได้ (repeatable condition)

3. การควบคุมผลิตภัณฑ์ ความแปรผันจากระบบการวัดควรมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงขอบเขตควบคุมของผลิตภัณฑ์ (specification limit) การประเมินความแปรผันของระบบการวัดเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance) ของขอบเขตควบคุมของผลิตภัณฑ์ เรียกว่า Precision-to-Tolerance Ratio (P/T) ใช้แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีและผลิตภัณฑ์เสียได้ [25]

4. การควบคุมกระบวนการ ความแปรผันจากระบบการวัดควรมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความแปรผันของกระบวนการ การประเมินความแปรผันของระบบการวัดเทียบกับความแปรผันของกระบวนการ เรียกว่า Precision-to-Total Variation (P/TV) ใช้แสดงว่าระบบการวัดมีความถูกต้องและแม่นยำสามารถตรวจวัดความแปรผันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ [25]

โดยทั่วไปกำหนดเกณฑ์การยอมรับของค่า P/T และ ค่า P/TV ดังนี้

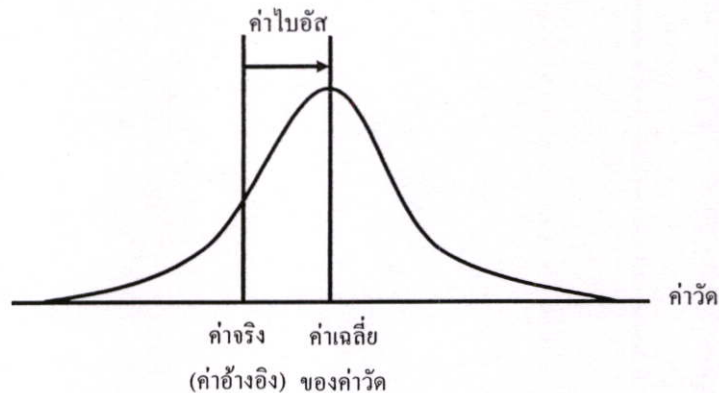
P/T หรือ P/TV < 10%	สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้
$10\% \leq P/T$ หรือ $P/TV < 30\%$	อาจยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ (ซึ่งควรพิจารณาควบคู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือการบำรุงรักษากระบวนการว่ามีความคุ้มค่าหรือไม่ เป็นต้น)
P/T หรือ P/TV $\geq 30\%$	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ จำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุของความเบี่ยงเบนแล้วลดหรือกำจัดความเบี่ยงเบนนั้นๆ

ความแปรผันของระบบการวัดมีความสัมพันธ์กับความแปรผันและคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ ประเภทของความแปรผันของระบบการวัด ได้แก่ ความแปรผันของตำแหน่ง (location variation) และ ความแปรผันของความกว้าง (width variation)

ก. ความแปรผันของตำแหน่ง พิจารณาจาก

1. ไบอัส (bias) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดหรือผลิตภัณฑ์เดียวกัน ดังรูปที่ 3.18 ไบอัสอาจเกิดจาก

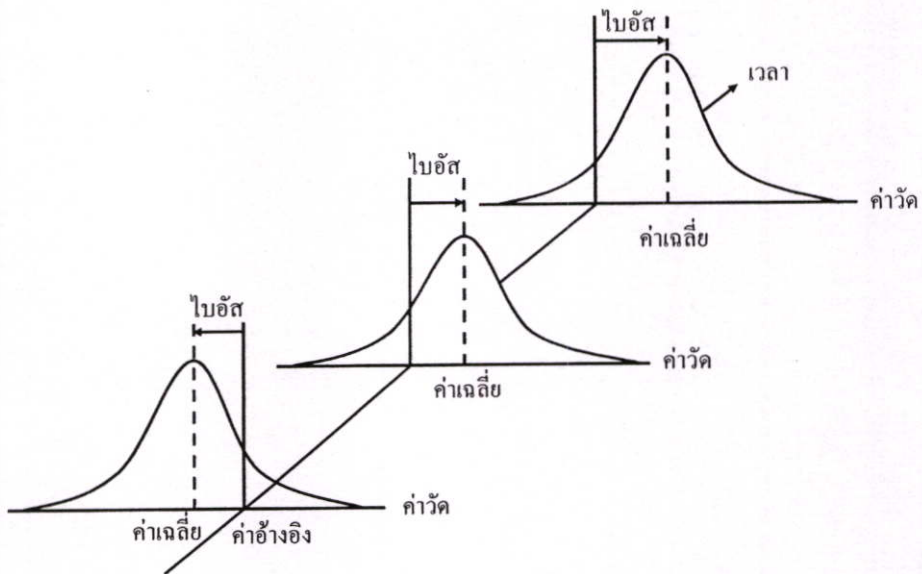
- การสึกหรอของเครื่องมือวัดหรือเกจ หรืออุปกรณ์จับยึดงาน
- การสอบเทียบเครื่องมือวัดหรือเกจไม่ถูกต้อง
- มีการใช้เครื่องมือวัดหรือเกจในช่วงการวัดไม่ถูกต้อง เป็นต้น



รูปที่ 3.18 ไบอัสของระบบการวัด [25]

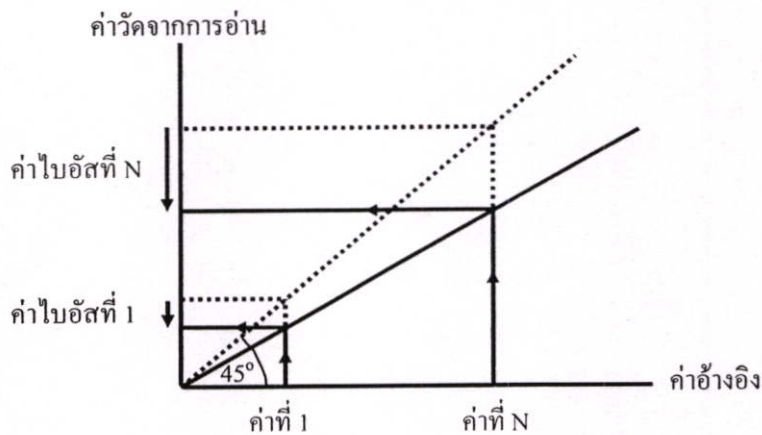
2. ความเสถียร (stability) คือ ความแปรผันทั้งหมดในการวัดชิ้นงานเดียวกันที่ได้จากระบบการวัดตลอดช่วงเวลาของการวัด หรือคือ การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสตลอดช่วงเวลาของการวัด ดังรูปที่ 3.19 เครื่องมือวัดหรือเกจที่ใช้งานนานจะเกิดไบอัสและขาดเสถียรภาพ การสอบเทียบ

เครื่องมือวัดหรือเกจอย่างถูกวิธีตามระยะเวลาที่กำหนดสามารถเพิ่มเสถียรภาพของเครื่องมือวัดหรือ
 เกจ



รูปที่ 3.19 ความเสถียรของระบบการวัด [25]

3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) คือ ความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงเวลาของการ
 วัดของเครื่องมือวัด หรือ ค่าความแตกต่างของค่าไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัด (working range)
 ดังรูปที่ 3.20

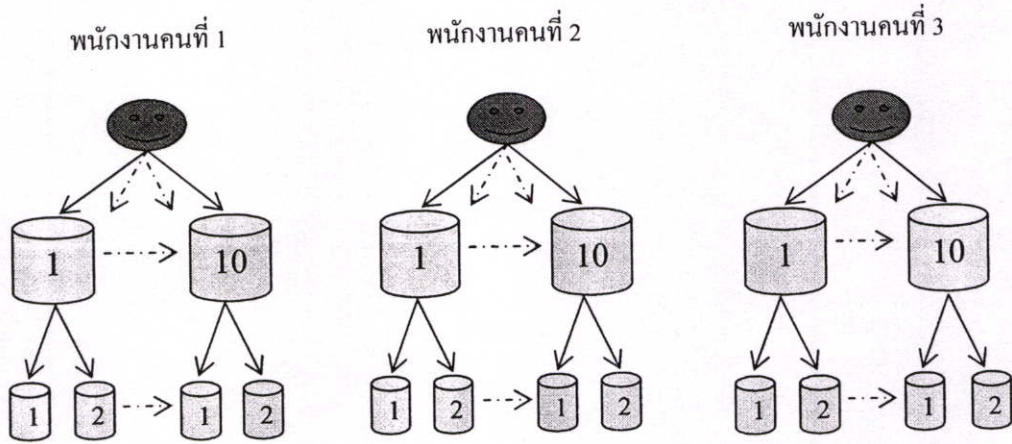


รูปที่ 3.20 คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด [25]

ข. ความแปรผันของความกว้าง วิเคราะห์จากความแม่นยำ (precision) ของระบบการวัด ซึ่ง
 หมายถึงอิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง ความไว ความสามารถในการ
 ทำซ้ำได้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน หรือรื้อที่ทะบิลิตี้ (repeatability) โดยให้พนักงานคนเดียวกันวัด
 ผลลัพธ์ขึ้นเดียวกันซ้ำๆ ด้วยเครื่องมือวัดหรือเกจเดียวกัน และความสามารถในการทำเหมือน

หรือรีโพรดูซิบิลิตี (reproducibility) โดยให้พนักงานแต่ละคนวัดผลิตภัณฑ์ชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือวัดหรือเกจเดียวกันแล้วนำค่าที่วัดมาเปรียบเทียบกัน

รูปที่ 3.21 แสดงการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ถูกสุ่มมาจากกระบวนการผลิตจำนวน 10 ชิ้น ด้วยไมโครมิเตอร์โดยพนักงาน 3 คน ที่ได้รับการอบรมวิธีการวัดแล้วคนละ 2 ครั้ง และแสดงผลการวัดดังตารางที่ 3.7

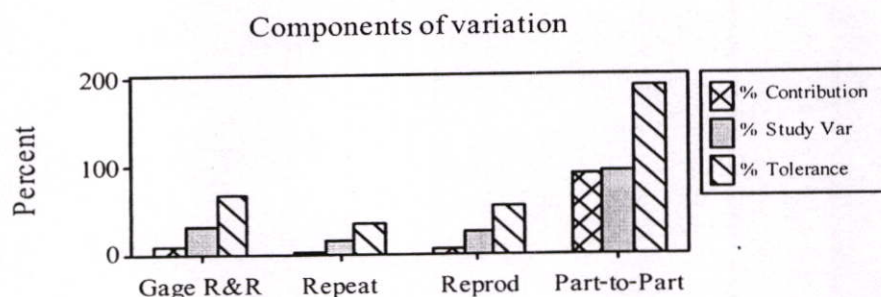


รูปที่ 3.21 การวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ถูกสุ่มมาจากกระบวนการผลิตด้วยพนักงาน 3 คน

ตารางที่ 3.7 ความแปรผันของพนักงานต่อผลของการวัดขนาดผลิตภัณฑ์ [25]

ผลิตภัณฑ์ ชิ้นที่	ขนาดของผลิตภัณฑ์ (มิลลิเมตร)					
	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.60	0.65	0.55	0.55	0.55	0.50
2	1.00	1.00	0.95	1.05	1.00	1.05
3	0.80	0.85	0.75	0.80	0.80	0.80
4	0.95	0.85	0.75	0.80	0.80	0.80
5	0.45	0.55	0.40	0.40	0.50	0.45
6	1.00	1.00	1.05	1.00	1.05	1.00
7	0.95	0.95	0.90	0.95	0.95	0.95
8	0.80	0.85	0.70	0.75	0.80	0.80
9	1.00	1.00	0.95	1.00	1.05	1.05
10	0.70	0.60	0.50	0.55	0.80	0.85

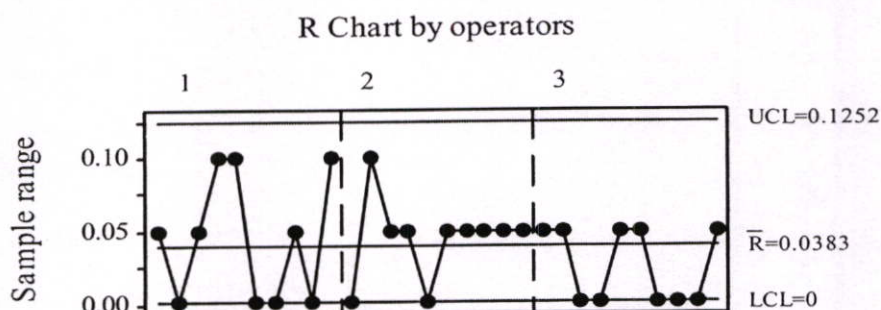
นำข้อมูลในตารางที่ 3.7 มาวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรมมินิแทป เพื่อยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากระบบการวัด ได้ผลดังรูปที่ 3.22-3.27



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างแผนภูมิแท่ง components of variation แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นในระบบการวัด [25]

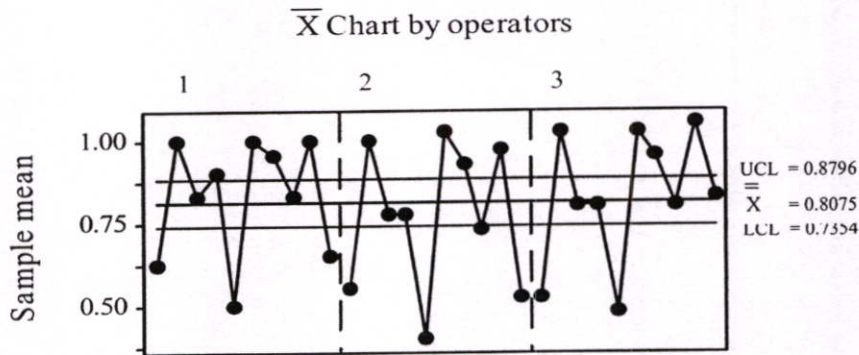
แผนภูมิแท่งดังรูปที่ 3.22 แสดงค่าจัดสรรความแปรผัน (% contribution) ความแปรผันจากระบบการวัด (study variation) และความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance) ที่เกิดจากความแปรผันของเครื่องมือวัดหรือเกจ (Gage Repeatability and Reproducibility: Gage R&R) ซึ่งคือ ผลรวมของค่าความแปรผันเนื่องจากรีพีทะบิลิตี้ (repeatability: Repeat) รีโพรดูซิบิลิตี้ (reproducibility: Reprod) และความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต (part-to-part)

ความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ คือ ผลรวมระหว่างความแปรผันของเครื่องมือวัดหรือเกจและความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต ดังนั้นถ้าความแปรผันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากความแปรผันระหว่างผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตดังรูปที่ 3.22 แสดงว่ามีความแปรผันจากระบวนการผลิตมากกว่าความแปรผันจากระบบการวัด และกล่าวได้ว่าระบบการวัดมีความแม่นยำและสามารถตรวจวัดความแปรผันของผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม R แสดงความสามารถของระบบการวัดในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ [25]

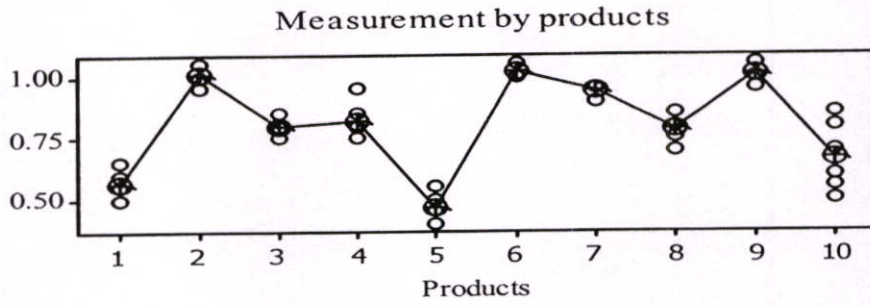
จากรูปที่ 3.23 แผนภูมิควบคุม R แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลวัดในรูปพิสัย (range) สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ จากรูปพบว่าค่าเฉลี่ยของพิสัย (\bar{R}) เท่ากับ 0.0383 และกลุ่มข้อมูลมีค่าพิสัย 3 ค่า ที่อยู่ในขอบเขตควบคุม คือ 0, 0.05 และ 0.10 แสดงว่าระบบการวัดมีการแยกชัดที่ละเอียดพอสมควรที่จะแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์หรือความแปรผันของกระบวนการผลิต



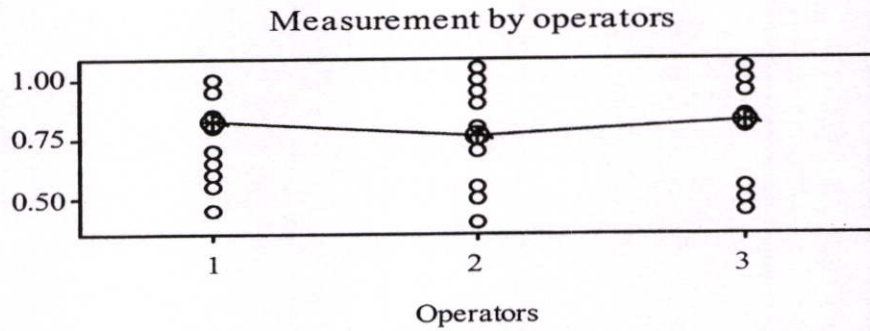
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม \bar{X} -bar แสดงความแปรผันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเทียบกับความแปรผันของกระบวนการผลิต [25]

แผนภูมิควบคุม \bar{X} พิจารณาความแปรผันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเทียบกับความแปรผันของกระบวนการผลิต กำหนดขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม \bar{X} แทนความแปรผันของระบบการวัด และจุดทุกจุดบนแผนภูมิ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้ซึ่งแสดงความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการ ซึ่งถ้าจุดทุกจุดอยู่ในขอบเขตควบคุมของแผนภูมิควบคุม \bar{X} แสดงว่าความแปรผันของระบบการวัดมีค่ามากกว่าความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการ หมายความว่าระบบการวัดไม่สามารถตรวจวัดความแปรผันของกระบวนการผลิตได้ แต่ถ้ามีจุดออกนอกขอบเขตควบคุมดังรูปที่ 3.24 แสดงว่าความแปรผันของระบบการวัดมีค่าน้อยกว่าความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต กล่าวได้ว่าระบบการวัดมีความไวที่จะตรวจวัดความแปรผันของกระบวนการผลิตได้ ในกรณีนี้คือความแตกต่างของขนาดผลิตภัณฑ์

พิจารณาแผนภาพ measurement by products จากรูปที่ 3.25 พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดของผลิตภัณฑ์จำนวนวัด 60 ครั้ง ที่สุ่มมาจากกระบวนการ จำนวน 10 ชิ้น และวัดโดยพนักงาน 3 คนๆ ละ 2 ครั้ง มีขนาดแตกต่างกัน แสดงว่าระบบการวัดสามารถตรวจวัดความแตกต่างของขนาดผลิตภัณฑ์

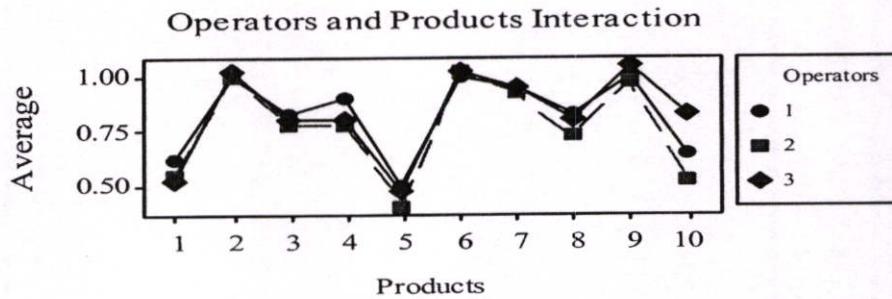


รูปที่ 3.25 ตัวอย่างแผนภาพ measurement by products แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง [25]



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างแผนภาพ measurement by operators แสดงความแปรผันของพนักงานต่อแนวโน้มการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ [25]

พิจารณาแผนภาพ measurement by operators จากรูปที่ 3.26 พบว่าเส้นแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของขนาดของผลิตภัณฑ์ที่พนักงานควบคุมคุณภาพวัดได้มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง แสดงว่าพนักงานควบคุมคุณภาพและเครื่องมือวัดสามารถวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.27 ตัวอย่างแผนภาพ operators and products interaction แสดงความมีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและผลิตภัณฑ์ [25]

แผนภาพ operators and products interaction ใช้ในการตีความหมายของความมีอิทธิพลร่วมหรือความมีอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพนักงานและผลิตภัณฑ์ แต่ละจุดในแผนภาพแสดงค่าที่วัดได้ของพนักงานแต่ละคน ถ้าเส้นกราฟตัดกันหรือมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าพนักงานแต่ละคนสามารถวัดขนาดของชิ้นงานได้ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าเส้นกราฟที่ไม่ตัดกันและไม่ใกล้เคียงกันแสดงว่าพนักงานอาจมีความผิดพลาดในการวัด หรือชิ้นงานนั้นมีข้อบกพร่องต้องทวนสอบชิ้นงานก่อนนำมาทดสอบอีกครั้ง หรือเครื่องวัดไม่สามารถตรวจวัดความแตกต่างของขนาดของผลิตภัณฑ์ได้ [25] จากรูปที่ 3.27 พบว่าเส้นกราฟตัดกันและมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าพนักงานควบคุมคุณภาพสามารถวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกัน

โดยทั่วไปในเบื้องต้นถ้าพิจารณาเพียงแผนภูมิควบคุม R แผนภูมิควบคุม \bar{X} และแผนภาพความมีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและผลิตภัณฑ์ ก็สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือหรือไม่ ส่วนความแม่นยำของระบบการวัดจะต้องพิจารณาร่วมกับค่า P/T, P/TV และ % contribution

3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำที่บรรจุด้วยเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงและเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ โดยอาศัยหลักการบริหารคุณภาพ วิธีทางสถิติ และโปรแกรมมินิแทปเป็นเครื่องมือค้นหาสาเหตุและปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ และได้ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Andrew D. Ezekiel และ Guangming Chen [29] “Weight-Variation Reduction in Pharmaceutical Filling Process through Parameter Design Aimed for Robustness” ใช้หลักการทดลองแบบแข็งแกร่ง (robust design) เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการบรรจุซึ่งมีผลต่อความแปรปรวนของน้ำหนักยาเมื่อเทียบกับน้ำหนักขอบเขตควบคุม และควบคุมการบรรจุน้ำหนักยาให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเพื่อลดต้นทุนการผลิต งานวิจัยนี้พบว่าความเร็วรอบของการบรรจุ (จำนวนบรรจุภัณฑ์/นาทิต) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการลดความแปรปรวนของน้ำหนักยา ความเร็วของเครื่องบรรจุที่เหมาะสมที่สุด คือ 100 บรรจุภัณฑ์/นาทิต เพราะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่อยู่ในน้ำหนักขอบเขตควบคุมน้อยที่สุด

พัชรสิงห์ สิงหราช อยุธยา [30] “การออกแบบและพัฒนาหัวบรรจุสำหรับเครื่องบรรจุนมขวดแบบแก้ววิดี” เน้นการศึกษาส่วนประกอบ หลักการทำงานของหัวบรรจุนมสดแบบแก้ววิดี และทดลองศึกษาขนาดชิ้นส่วน ระยะเปิดของหัวบรรจุ และระดับของนมสดในถังจ่ายผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความเร็วสำหรับการบรรจุนมสดลงบรรจุภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ออกแบบหัวบรรจุ เพราะขนาดของชิ้นส่วนหัวบรรจุส่วนต่างๆ มีผลต่อแรงดันและระยะเวลาการบรรจุ

ลักขวดี ตีระกิจวัฒนา [31] “การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักไอศกรีม” ประยุกต์ใช้หลักการบริหารคุณภาพและเทคนิคทางสถิติเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตไอศกรีม พบว่าปริมาณการเติมอากาศในเนื้อไอศกรีมและการปรับวาล์วด้วยมือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักไอศกรีม จึงประยุกต์หลักการออกแบบการทดลองเพื่อหาปริมาณการเติมอากาศในเนื้อไอศกรีมและระดับของการปรับวาล์วด้วยมือที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำหนักของไอศกรีมใกล้เคียงกับน้ำหนักมาตรฐาน และสามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักไอศกรีมจาก 2.83 เป็น 2.28

วิชัย รวิพันธ์ [32] “การออกแบบแผนการทดลองและการควบคุมการผลิตในแผนกบรรจุภัณฑ์: กรณีศึกษาบริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด” งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงเทปและหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดึงเทปใกล้เคียง 70 gramf ตามความต้องการของลูกค้า จากงานวิจัยพบว่า ความหนา แรงกด และอุณหภูมิของใบมีดมีความสัมพันธ์กับแรงดึงเทปอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณสามารถสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่มีต่อแรงดึงเทป เมื่อทดลองปรับค่าของปัจจัยที่เหมาะสมบนเครื่องปิดผนึกเทป พบว่าค่าแรงดึงเทปมีค่า 71.2 gramf

เอกราช สนิมรงค์ [33] “การประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบการทดลองในการลดความเบี่ยงเบนของร่องกาวกล่องกระดาษลูกฟูก” ศึกษาแนวทางของการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าความเบี่ยงเบนของร่องกาวกล่องกระดาษลูกฟูก ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของร่องกาวอย่างมีนัยสำคัญ คือ ระยะกคของมิดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวา ระยะกคของสายพานป้อนเข้าชุดนับ และระยะก้นท้ายของชุดนับ นำปัจจัยดังกล่าวทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าควรมีการปรับระยะกคของมิดทับรอยชุดที่ 1 ที่ 0.0 มิลลิเมตร ระยะกคของมิดทับรอยชุดที่ 2 ที่ 0.0 มิลลิเมตร ระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวาที่ -3 มิลลิเมตร ระยะกคของสายพานป้อนเข้าชุดนับที่ 15 มิลลิเมตร และระยะก้นท้ายของชุดนับที่ 385 มิลลิเมตร ทำให้ได้ค่าความเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด

งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการทางสถิติ การออกแบบการทดลองโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมินิแทปในการหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญและหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมต่อกระบวนการ เช่น

ปรีดาร่า ธรรมเสวต [26] “การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยโปรแกรมมินิแทป” ศึกษาสภาวะการผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนชนิด Biaxial-oriented polypropylene (BOPP) ที่มีการปรับผิวหน้าเทปก่อนเข้ากระบวนการพิมพ์ลวดลาย 2 วิธี คือ โดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนา การกำหนดตัวแปรที่ทดลองและการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแปรต่อคุณภาพการพิมพ์บนเทปกาวพอลิโพรพิลีนใช้หลักการออกแบบการทดลอง พบว่าสภาวะการผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับ

ผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 องศาเซลเซียส ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 3 วินาที ที่อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ที่ 30 องศาเซลเซียส สำหรับสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในกรณีที่ปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนา คือ ระดับโคโรนาที่ 12 ± 2 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 องศาเซลเซียส ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 5 วินาที และอุณหภูมิของคู่อุปสรรเคลื่อนที่ที่ 30 องศาเซลเซียส

พิทักษ์ เต็มแสงเลิศ [34] “การลดความแปรปรวนของ Bulk density ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา” งานวิจัยนี้ใช้วิธีการลดรอยเชิงเส้นแบบหลายเชิงในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของ bulk density (BD) พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ BD คือ ความดันภายในหอดูด และความดันที่เครื่องสูบลมความดันสูง จากการปรับค่าความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาดังกล่าว สามารถลดความแปรปรวนของ BD ลงได้ 33.33% เมื่อเทียบกับความแปรปรวนของค่า BD ก่อนการดำเนินงาน

ทรงพล พิเชษฐวัฒนา [35] “การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์” เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดึงโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่าที่อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว A:B เท่ากับ 4:1 อุณหภูมิในการอบหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 300 องศาฟาเรนไฮต์ และเวลาในการอบ 16 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีค่าแรงดึงสูงสุด

สุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ [36] “อิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียรในทรงกระบอกที่มีผลต่อความหยาบผิว” งานวิจัยนี้วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการตัดทรงกระบอกแบบขั้นศูนย์ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหยาบผิวโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียล จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำลง คือ ต้องใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรใน 2.83 นาที และอัตราการป้อนล้อยินเจียรในเข้าหาชิ้นงานเท่ากับ 0.699 มิลลิเมตร/นาที

รติบุรณ์ ชินสุทธิ [37] “การลดรีเวิร์คในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา” งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดรีเวิร์ค (rework) ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา ด้วยหลักการออกแบบการทดลอง และการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control : SPC) พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดรีเวิร์ค คือ เปอร์เซนต์ active detergent (% AD) ที่หน่วยผสมสารเติมแต่งไม่ได้มาตรฐาน ปริมาณการเติมผงพื้นฐานและวัตถุจับในฟลูอิดไอเซอร์ไม่ดี หลังจากการปรับปรุงชุดเครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบและฟลูอิดไอเซอร์ สามารถลดเปอร์เซนต์ AD ที่ไม่ได้มาตรฐานจาก 3.03 ครั้ง/สัปดาห์ เหลือ 0.29 ครั้ง/สัปดาห์

กุลธิดา ชุนเกาะ [38] “การปรับปรุงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ยาสระผมในกระบวนการผสมโดยอาศัยเทคนิคสถิติ” ใช้หลักการบริหารคุณภาพมาเป็นแนวคิดในการปฏิบัติและประยุกต์เทคนิคทางสถิติในการปรับปรุงคุณภาพของยาสระผมจากกระบวนการผสม พบว่าความหนืดของยาสระผมที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นปัญหาหลักของกระบวนการผลิต การหาสาเหตุที่เป็นไปได้ใช้แผนภาพสาเหตุและผล และนำสาเหตุดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสภาวะความล้มเหลวและผลกระทบ ซึ่งได้สาเหตุเบื้องต้นที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าความหนืดของยาสระผม คือ เเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในสารชำระล้าง เเปอร์เซ็นต์การเติมสารเพิ่มฟอง และเปอร์เซ็นต์การเติมน้ำเกลือ ใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้นเพื่อให้ได้ค่าความหนืดของยาสระผมในช่วง 4,500 – 5,500 เซนติพอยซ์

พีรเดช สุวิฑารักษ์ [39] “การลดปริมาณการใช้สารเคมีพีเอฟ 5060 ในการเคลือบผิวของเครื่องซีแวกซ์ในการผลิตชุดแขนอ่านและบันทึกข้อมูลฮาร์ดดิสก์ของผลิตภัณฑ์เอ็นเตอร์ไพรส์โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ซิกม่า” ใช้แนวคิดในการบริหารคุณภาพด้วยแนวทางซิกซ์ซิกม่า 5 ขั้นตอน (DMAIC) คือ การกำหนดและนิยามปัญหา (define) การวัด (measure) เพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (improve) และการควบคุมปัจจัย (control) ที่มีนัยสำคัญต่างๆ จากขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ทราบว่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีพีเอฟ 5060 คือ การปรับอุณหภูมิที่ถังต้ม และระยะเวลาในการเปิดประตู เพื่อให้ชิ้นงานเข้าไปเคลือบผิวของเครื่องซีแวกซ์ ใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^2 ด้วยการทำซ้ำ 2 ครั้ง และเซ็นเตอร์พอยต์ 5 จุด พบว่าที่อุณหภูมิที่ถังต้ม 134 องศาฟาเรนไฮต์ และระยะเวลาในการเปิดประตู 2 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณการใช้สารเคมีต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ การทดลองในระดับอื่นๆ

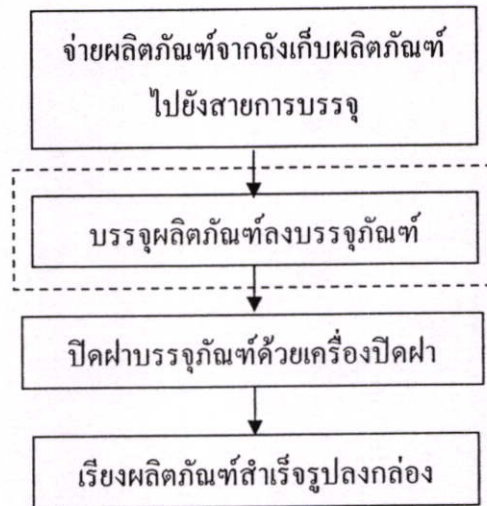
บทที่ 4

การดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

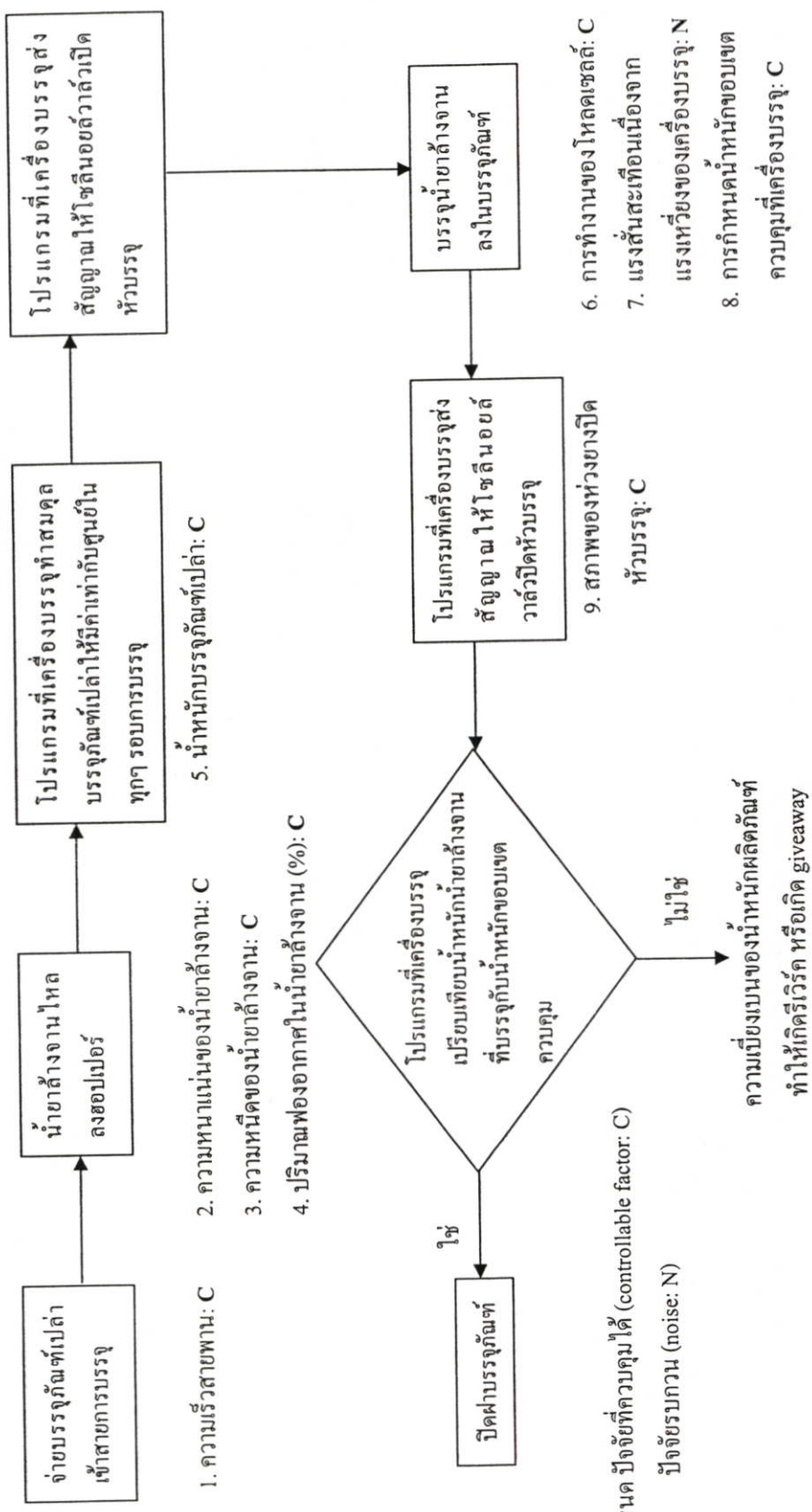
ศึกษาและทำความเข้าใจความแปรผันของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุและสาเหตุ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนัก น้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ

4.1 ศึกษาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุน้ำยาล้างจานและครีมอาบน้ำ

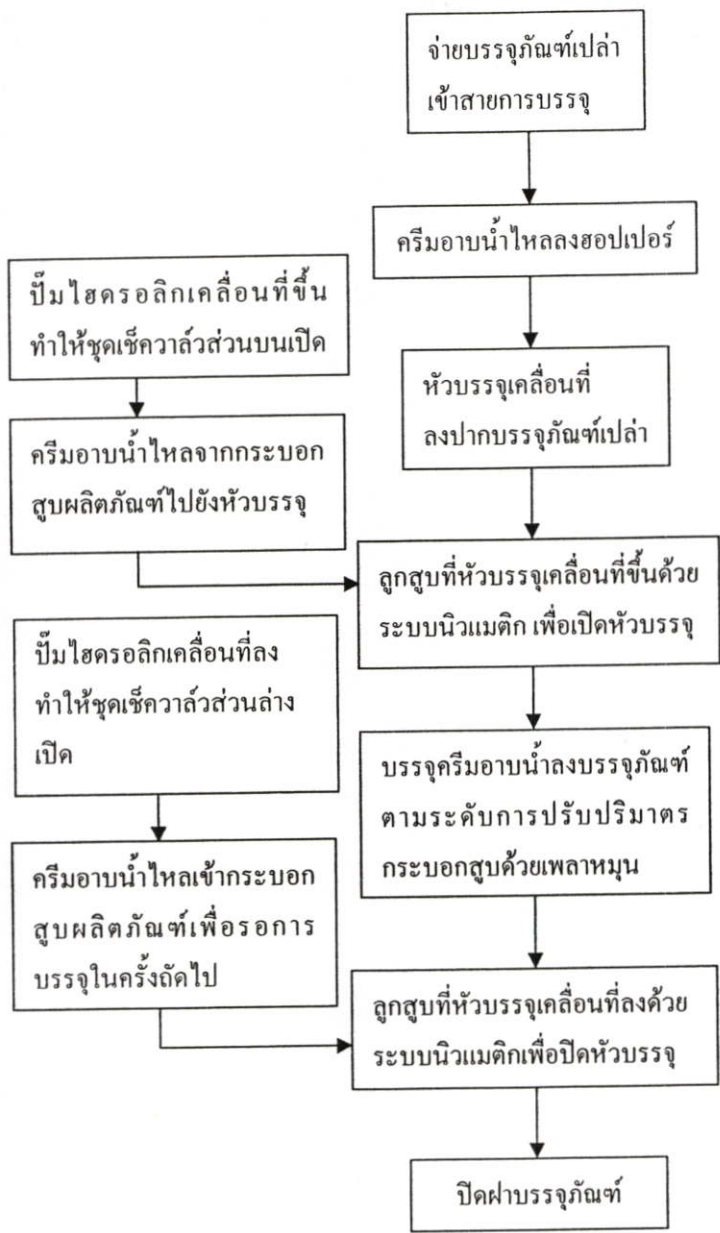
รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนในกระบวนการบรรจุของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงแผนภาพกระบวนการบรรจุน้ำยาล้างจานด้วยเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ และกระบวนการบรรจุครีมอาบน้ำด้วยเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แผนภาพกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.2 ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุยาล้างจานที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติที่คาดว่ามีความเสี่ยงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์



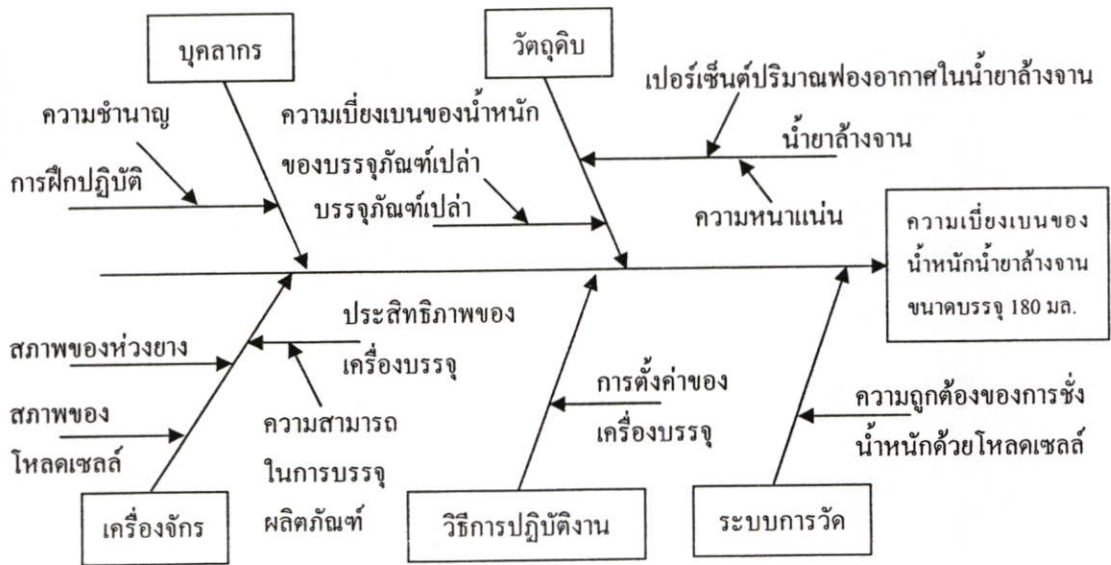
1. ความเร็วสายพาน: C
2. น้ำหนักบรรจุภัณฑ์เปล่า: C
3. ความหนาแน่นของครีมอาบน้ำ: C
4. ความหนืดของครีมอาบน้ำ: C
5. ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (%): C
6. สภาพของชุดเซ็นเซอร์ควาล์ว: C
7. สภาพของกระบอกสูบและลูกสูบ: C
8. สภาพของซีลภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์: C
9. ขนาดของหัวบรรจุ: C
10. สภาพสปริงค้ำกันลูกสูบของชุดกระบอกสูบผลิตภัณฑ์: C
11. การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์: C
12. ความสม่ำเสมอในการบรรจุน้ำหนักครีมอาบน้ำจาก 8 หัวบรรจุ: C
13. น้ำหนักฝา: C

กำหนด ปัจจัยที่ควบคุมได้ (controllable factor: C)
 ปัจจัยรบกวน (noise: N)

รูปที่ 4.3 ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการบรรจุครีมอาบน้ำที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์

4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร

พิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้จากรูปที่ 4.2 และปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการอื่นๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ C2 ได้ 5 ปัจจัยหลัก คือ บุคลากร วัตถุดิบ เครื่องจักร วิธีการปฏิบัติงาน และระบบการวัด พิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ โดยแยกสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้ของแต่ละปัจจัยย่อยตามแผนภาพสาเหตุและผลดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพสาเหตุและผลของความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการจากรูปที่ 4.4 ที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ใช้หลักการทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว และการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับด้วยโปรแกรมมินิแทป และตัดปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่ไม่มีนัยสำคัญออก ปัจจัยที่พิจารณาคือ

4.2.1 ปัจจัยบุคลากร เนื่องจากพนักงานของทุกกะการทำงานได้รับการอบรม ฝึกฝน และเรียนรู้หลักการทำงานของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วง จึงเข้าใจการทำงานของเครื่องบรรจุเป็นอย่างดี มีความชำนาญและเชี่ยวชาญในการคุมเครื่องที่รับผิดชอบ สรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพนักงาน ปัจจัยบุคลากรจึงไม่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.2 ปัจจัยวัตถุดิบ ประกอบด้วย น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า และสมบัติของน้ำยาล้างจาน ได้แก่ ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ

4.2.2.1 พิจารณาความแปรปรวนของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าด้วยโปรแกรมมินิแทป ถ้าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่ามีความแปรปรวนจากน้ำหนักของขอบเขตควบคุมมากต้องให้บริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ควบคุมน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ในกระบวนการผลิต การตรวจสอบสุ่มซึ่งน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าจาก 3 ลอตการผลิตของบริษัทผู้ผลิตจำนวน 42 ครั้งๆ ละ 5 ขวด แสดงดังตารางที่ ค.1

กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

H_a : ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{42}$$

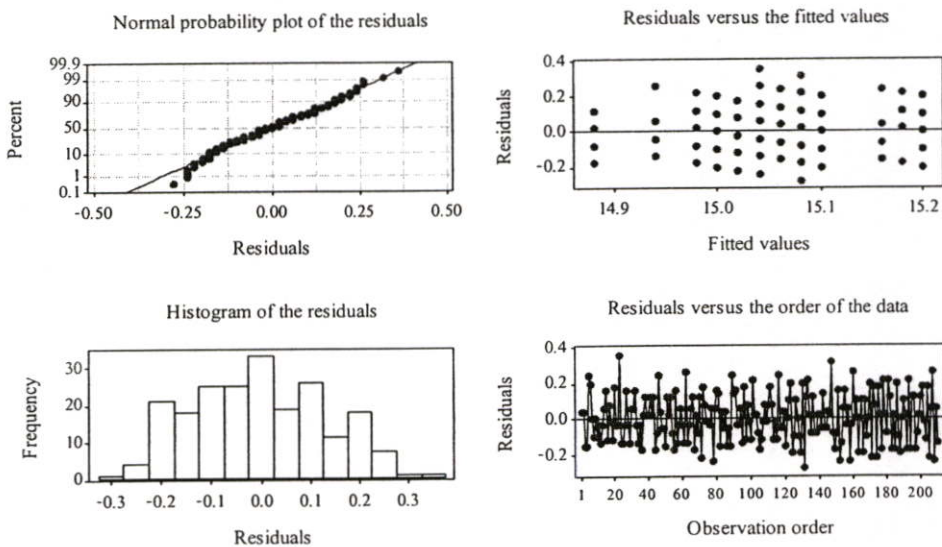
$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_{42}$$

โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรจุภัณฑ์เปล่า

i คือ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลในกระบวนการบรรจุ (เมื่อ $i = 1, \dots, 42$)

รูปที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

Residual model diagnostics



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า

ก. การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล พิจารณากราฟ normal probability plot of the residuals พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงเรียงขึ้นด้านขวา และแผนภาพพีเอสโตแกรมมีลักษณะการกระจายตัวสมมาตรแบบรูปทรงระฆังคว่ำ สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

ข. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลด้วยแผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง พบว่าแผนภาพการกระจายไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ค. การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของแผนภาพการกระจายของข้อมูลกับค่าที่ควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง พบว่าข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนอย่างสม่ำเสมอ

จากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่า ข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สรุปผลในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า

Source of variation	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Bottle weight	41	0.7100	0.0173	0.77	0.836
Error	168	3.7760	0.0225	-	-
Total	209	4.4860	-	-	-

จากตารางที่ 4.1 พบว่า P-Value มีค่า 0.836 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปว่าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวได้ว่าบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์สามารถควบคุมความแปรปรวนของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าได้ ดังนั้นเมื่อนำมาบรรจุน้ำยาล้างจานในสายการบรรจุที่เป็นกรณีศึกษา น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่าจึงไม่ส่งผลกระทบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.2.2 พิจารณาความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานในสายการบรรจุขณะเดินเครื่องบรรจุด้วยโปรแกรมมินิแทป ถ้าความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานมีความแปรปรวนจากค่าขอบเขตควบคุมมากต้องให้ฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์ของบริษัทควบคุมความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานในกระบวนการผสม การตรวจสอบสุ่มวัดค่าความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานทั้งภายในแบบ (batch) เดียวกันและต่างแบบทุกๆ 10 นาที จำนวน 24 ครั้งๆ ละ 3 บรรจุภัณฑ์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ ก.2

กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

H_a : ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{24}$$

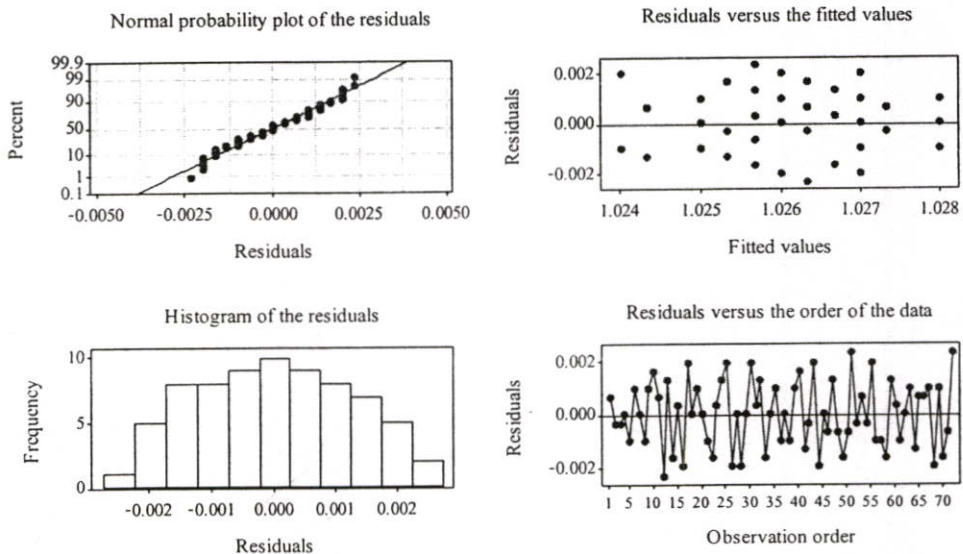
$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_{24}$$

โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน

i คือ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล (เมื่อ $i = 1, \dots, 24$)

รูปที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

Residual model diagnostics



รูปที่ 4.6 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระ และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่าข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สรุปผลในตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน

Source of variation	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Density of dish-washing liquid	23	0.0000607	0.0000026	1.13	0.351
Error	48	0.0001120	0.0000023	-	-
Total	71	0.0001727	-	-	-

จากตารางที่ 4.2 พบว่า P-Value มีค่า 0.351 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปว่าความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานในสายการบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวได้ว่าฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์มีมาตรการควบคุมความแปรปรวนของความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานให้อยู่ภายในค่าขอบเขตควบคุม จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.2.3 พิจารณาความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานขณะบรรจุด้วยโปรแกรมมินิแทป เก็บตัวอย่างจากสายการบรรจุเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานทั้งภายในแบบเดียวกันและต่างแบบซุกๆ 10 นาที จำนวน 10 ครั้งๆ ละ 3 บรรจุภัณฑ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที แสดงดังตารางที่ ค.3 โดยสุ่มชั่งน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานในปริมาณเท่ากัน คือ 100 มิลลิลิตร เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานระหว่างการบรรจุ

ถ้าความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานมีมาก พนักงานฝ่ายบรรจุจะกำหนดน้ำหนักเป้าหมายที่โปรแกรมของเครื่องบรรจุด้วยค่าที่สูงกว่าค่าน้ำหนักมาตรฐานมากๆ เพราะเกรงว่าเมื่อปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานลดลง น้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุจะต่ำกว่าน้ำหนักมาตรฐาน ทำให้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ของพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมักพบผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักบรรจุเกินกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนจำนวนมาก นอกจากนี้การกำหนดน้ำหนักเป้าหมายสูงกว่าน้ำหนักมาตรฐานมากน้ำยาล้างจานอาจล้นออกมานอกปากบรรจุภัณฑ์ขณะบรรจุและมีผลกระทบต่อการทำงานของโหลดเซลล์จากการสะสมของน้ำยาล้างจานบริเวณคานรับน้ำหนักของโหลดเซลล์ ทำให้พนักงานจะต้องทำความสะอาดเครื่องบรรจุก่อนเดินเครื่องอีกครั้ง ดังนั้นถ้าเกิดความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานต้องแจ้งให้ฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์ทราบ เพื่อปรับปรุงมาตรฐานการปฏิบัติงานให้ได้น้ำยาล้างจานที่มีความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศน้อยที่สุด

กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

H_a : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{10}$$

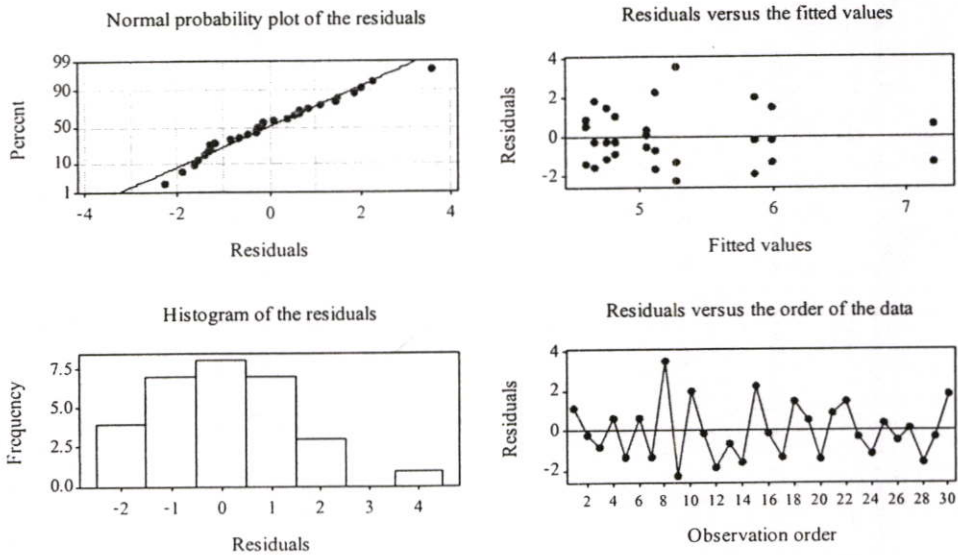
$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_{10}$$

โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน

i คือ จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล (เมื่อ $i = 1, \dots, 10$)

รูปที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

Residual model diagnostics



รูปที่ 4.7 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระ และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่าข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สรุปผลในตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน

Source of variation	DF	SS	MS	F ₀	P-Value
Percentage of aeration	9	17.90	1.99	0.71	0.698
Error	20	56.39	2.82	-	-
Total	29	74.28	-	-	-

จากตารางที่ 4.3 พบว่า P-Value มีค่า 0.698 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปว่าความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานในสายการบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวได้ว่าฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์มีมาตรการควบคุมความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.3 ปัจจัยเครื่องจักร

ในการพิจารณาความสามารถของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติที่บรรจุน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร น้ำหนักมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ควบคุมคุณภาพคือ 185.04 กรัม และน้ำหนักขอบเขตควบคุมคือ 184.04-186.04 กรัม (± 1 กรัมจากน้ำหนักมาตรฐาน) แต่เมื่อเดินเครื่องบรรจุภายใต้ข้อกำหนดดังกล่าวพบว่าจะเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่ได้มาตรฐานจำนวนมาก แสดงว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุม ± 1 กรัม จากน้ำหนักมาตรฐานแคบเกินกว่าความสามารถของเครื่องบรรจุ แต่จากค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการบรรจุที่ยอมรับได้ที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิตคือ 2 เปอร์เซ็นต์จากค่ากลางของน้ำหนักขอบเขตควบคุม จึงกำหนดน้ำหนักขอบเขตควบคุมเท่ากับ 181.34-188.74 กรัม แต่ก็ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักต่ำกว่าและสูงกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมเกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทดสอบความสามารถของเครื่องบรรจุที่น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนและค่าขีดจำกัดล่างต่างๆ ดังตารางที่ 4.4 และเก็บข้อมูลจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่อยู่ในขอบเขตควบคุมนั้นๆ แต่เนื่องจากเครื่องบรรจุเดินด้วยความเร็วสูง 400 บรรจุภัณฑ์/นาที จึงกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 1 นาที เพราะมีผลต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุม

ตารางที่ 4.4 จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมที่น้ำหนักขอบเขตควบคุมต่างๆ

ค่ากลางของน้ำหนักขอบเขตควบคุม (กรัม)	น้ำหนักขอบเขตควบคุม ค่าขีดจำกัดบน-ล่างของการบรรจุ น้ำหนักน้ำยาล้างจาน (กรัม)	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุม (ขวด)
185	182-188	36
	181-189	17
	180-190	6
186	183-189	20
	182-190	13
	181-191	4
187	184-190	43
	183-191	17
	182-192	6
188	185-191	15
	184-192	9
	183-193	3

หมายเหตุ การใช้น้ำหนักขอบเขตควบคุม (ค่าขีดจำกัดบน-ค่าขีดจำกัดล่าง) บางค่า เช่น 182-188 กรัม จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมจำนวนมาก ดังนั้นการเก็บข้อมูลจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมจึงทำภายในเวลา 1 นาที สำหรับทุกค่าของน้ำหนักขอบเขตควบคุม

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติสามารถบรรจุน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ได้ดีที่สุดในสภาวะการปฏิบัติงาน คือ ค่ากลางของน้ำหนักขอบเขตควบคุม 188 กรัม น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน 193 กรัม และค่าขีดจำกัดล่าง 183 กรัม เพราะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมน้อยที่สุด สำหรับที่น้ำหนักขอบเขตควบคุม เช่น 180-190, 181-191 และ 182-192 กรัม จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมมีมากกว่าเมื่อเทียบกับที่น้ำหนักขอบเขตควบคุม 183-193 กรัม นอกจากนี้ น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่างเท่ากับ 180, 181 และ 182 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ต่ำกว่า น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง สรุปได้ว่าความสามารถของเครื่องบรรจุอยู่ที่น้ำหนักขอบเขตควบคุม 183-193 กรัม จึงกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานในการตั้งค่าของเครื่องบรรจุ

อย่างไรก็ดีพบว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์จากเครื่องบรรจุที่ซั้งด้วยโพลีเอทิลีนและระบุว่ามีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมและถูกแยกออกจากสายการบรรจุมาซั้งซ้ำอีกครั้งด้วยเครื่องซั้งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ ปรากฏว่าผลิตภัณฑ์บางขวดมีน้ำหนักอยู่ในขอบเขตควบคุม แสดงว่าระบบการซั้งน้ำหนักด้วยโพลีเอทิลีนมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมเมื่อสิ้นสุดการทำงาน 1 กะ สูงเฉลี่ยประมาณ 2,000 บรรจุภัณฑ์ ดังนั้นจะต้องตรวจสอบสภาวะการทำงานและระบบการซั้งด้วยโพลีเอทิลีน และสภาพของโพลีเอทิลีนต่อไป

ก. ตรวจสอบสภาพทั่วไปของโพลีเอทิลีนและกำหนดมาตรฐานในการแก้ไขเพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดจากการทำงานของโพลีเอทิลีน ดังนี้

- ทำความสะอาดโพลีเอทิลีน
- ตรวจสอบการติดตั้งโพลีเอทิลีนกับแป้นรองบรรจุภัณฑ์ที่ทุกหัวบรรจุได้ จุดศูนย์กลาง และไม่มีรอยแตกหรือร้าว
- ตรวจสอบการผนึกซีลิโคนบริเวณแป้นรองบรรจุภัณฑ์ที่ทุกหัวบรรจุ เพื่อป้องกันน้ำยาล้างจานสะสมบริเวณคานรับน้ำหนักของโพลีเอทิลีน
- สอบเทียบโพลีเอทิลีนของทุกหัวบรรจุกับคัมน้ำหนักมาตรฐานที่เท่ากับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ต้องการบรรจุทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนขนาดบรรจุ

ข. ตรวจสอบสภาพของห่วงยางซึ่งใช้สำหรับปิดหัวบรรจุว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ไม่สึก หรือไม่มีรอยขาด เพราะถ้าหัวบรรจุปิดไม่สนิท น้ำยาล้างจานจะไหลเลอะปากบรรจุภัณฑ์ ทำให้การทำงานของโพลีเอทิลีนผิดพลาดเนื่องจากการสะสมของน้ำยาล้างจานที่คานรับน้ำหนักของโพลีเอทิลีน

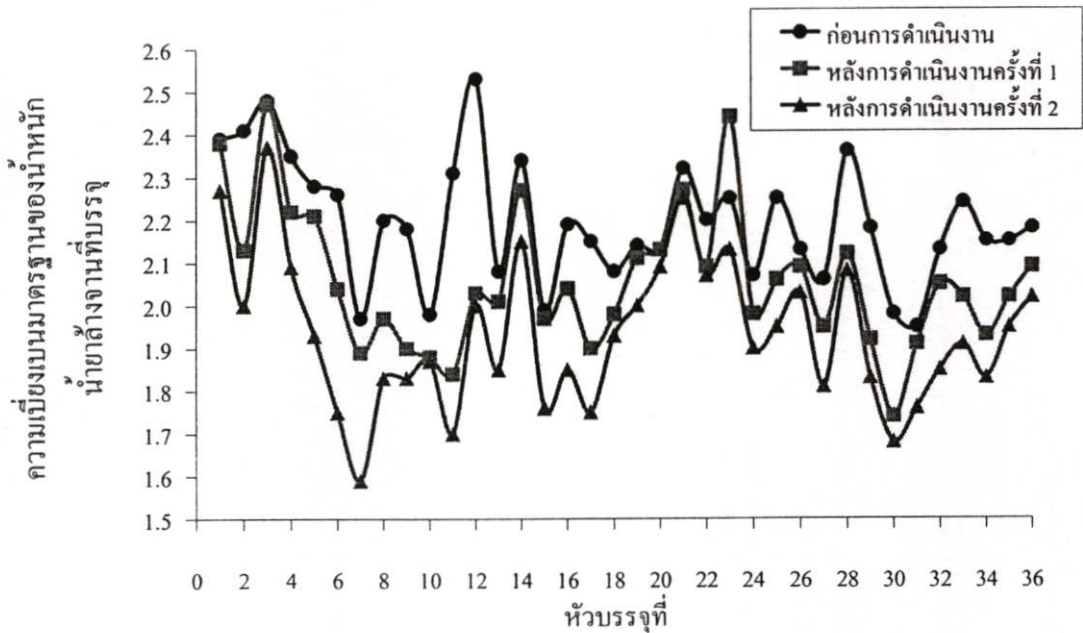
จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยเครื่องจักรไม่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.4 ปัจจัยวิธีปฏิบัติงาน เนื่องจากทางบริษัทกำหนดมาตรฐานการตั้งค่าของเครื่องบรรจุและการทำงานให้สอดคล้องกับคู่มือของบริษัทผู้ผลิตเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ และพนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนการดำเนินงานอย่างเคร่งครัด กล่าวได้ว่าวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานไม่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ

4.2.5 ปัจจัยระบบการวัด

ก. พิจารณาความเบี่ยงเบนของการซั้งน้ำหนักน้ำยาล้างจานด้วยโพลีเอทิลีนที่หัวบรรจุทั้ง 36 หัวบรรจุ ดังรูปที่ 4.8 พบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุที่หัวบรรจุ 3, 12, 21 และ 28 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักของน้ำยาล้างจานสูงเท่ากับ 2.48, 2.53, 2.32, และ 2.36 ตามลำดับ จึงได้เปลี่ยนโพลีเอทิลีนที่หัวบรรจุดังกล่าว และได้

ตรวจติดตามผลพบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงเป็น 2.37, 2.00, 2.25 และ 2.08 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าจะทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในขอบเขตควบคุมมากกว่าเดิมและลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลงได้ ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักของน้ำยาล้างจานจากทุกหัวบรรจุก่อนการดำเนินงานเท่ากับ 2.2 แต่หลังการดำเนินงานครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักของน้ำยาล้างจานมีค่าลดลงเป็น 2.06 และ 1.94 ตามลำดับ แสดงว่าระบบการชั่งน้ำหนักด้วยโพลคเซลล์มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ ซึ่งต้องวิเคราะห์ความถูกต้องในการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ด้วยโพลคเซลล์ต่อไป



รูปที่ 4.8 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่หวับรรจุต่างๆ ก่อนและหลังการดำเนินงาน

ข. วิเคราะห์ความถูกต้องในการชั่งน้ำหนักน้ำยาล้างจานด้วยโพลคเซลล์ที่หวับรรจุ ทั้ง 36 หวับรรจุ โดยเก็บข้อมูลน้ำหนักน้ำยาล้างจานจากการบรรจุ 5 รอบ ซึ่งชั่งด้วยโพลคเซลล์และแสดงน้ำหนักที่เครื่องบรรจุ ดังตารางที่ ค.4 แล้วชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์กลุ่มเดียวกันนี้ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ แสดงดังตารางที่ ค.5 พบว่าน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่ชั่งได้จากกระบวนการบรรจุมีค่าไม่ตรงกับน้ำหนักที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักภายนอกกระบวนการบรรจุ แสดงว่าเกิดความผิดพลาดของการทำงานของโพลคเซลล์ที่เครื่องบรรจุ ดังนั้นในการวิเคราะห์และชี้บ่งข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับการทำงานของโพลคเซลล์ ทำโดยประยุกต์หลักการทางสถิติ คือ "2-sample t test" เพื่อประมวลผลของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของน้ำยาล้างจานที่บรรจุซึ่งชั่งด้วยโพลคเซลล์และเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการ

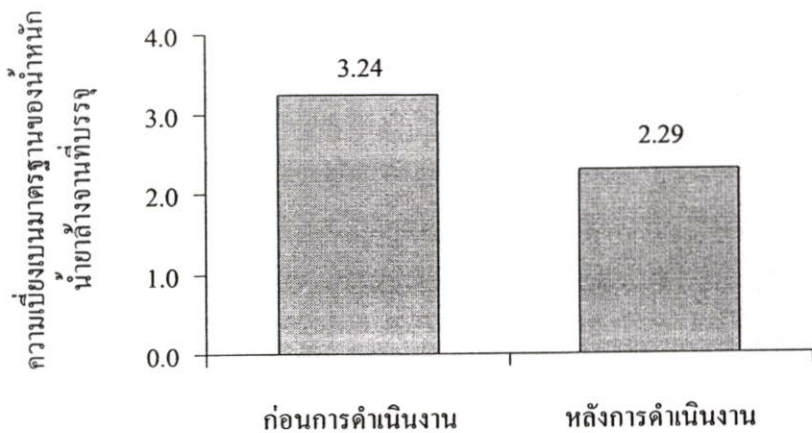
บรรจุ ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ายาล้างจานที่ซั้งด้วยโพลีเอสเตอร์ที่ 36 หัวบรรจุ กับที่ซั้งด้วยเครื่องซั้งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ายาล้างจานที่บรรจุซั้งด้วยโพลีเอสเตอร์ภายในกระบวนการบรรจุและเครื่องซั้งน้ำหนักมาตรฐานภายนอกกระบวนการบรรจุ

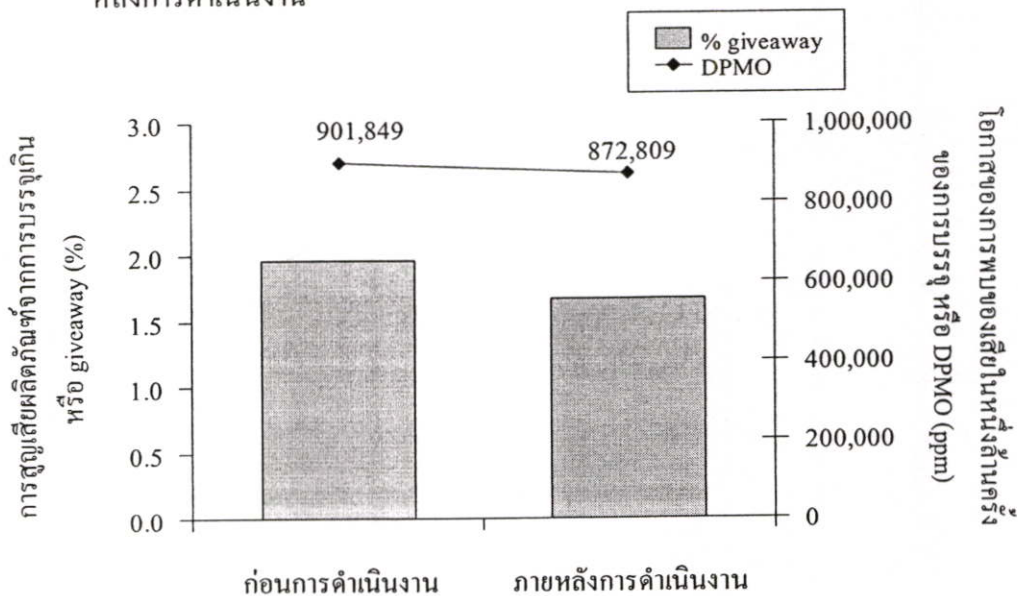
หัวบรรจุที่	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ายาล้างจานซั้งด้วย		P-Value	หัวบรรจุที่	ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักน้ายาล้างจานซั้งด้วย		P-Value
	โพลีเอสเตอร์ (กรัม)	เครื่องซั้ง (กรัม)			โพลีเอสเตอร์ (กรัม)	เครื่องซั้ง (กรัม)	
1	188.40	192.59	0.047	19	189.00	188.95	0.975
2	188.40	185.55	0.026	20	188.80	189.51	0.545
3	189.20	187.85	0.551	21	187.80	188.85	0.529
4	190.40	187.85	0.027	22	189.40	190.93	0.444
5	189.20	187.83	0.405	23	188.20	191.41	0.039
6	189.00	188.35	0.639	24	190.20	190.81	0.734
7	189.60	190.35	0.577	25	188.00	191.53	0.012
8	189.60	193.31	0.044	26	188.80	188.81	0.996
9	188.80	185.61	0.023	27	188.80	192.07	0.045
10	188.00	187.25	0.568	28	188.80	187.57	0.535
11	188.80	186.05	0.037	29	189.60	192.39	0.014
12	187.40	188.77	0.549	30	188.80	191.69	0.018
13	189.80	188.87	0.456	31	189.00	191.13	0.212
14	190.20	186.81	0.047	32	187.40	190.79	0.048
15	187.60	187.17	0.718	33	189.00	191.55	0.133
16	189.00	189.01	0.996	34	189.60	189.59	0.995
17	189.20	188.73	0.810	35	189.00	187.87	0.514
18	188.80	191.79	0.037	36	190.60	190.33	0.774

พบว่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ซั้งด้วยโพลีเอสเตอร์จากหัวบรรจุจำนวน 14 หัวบรรจุ ได้แก่ หัวบรรจุที่ 1, 2, 4, 8, 9, 11, 14, 18, 23, 25, 27, 29, 30 และ 32 มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าโพลีเอสเตอร์ที่ 14 หัวบรรจุมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ายาล้างจานที่บรรจุ และต้องปรับปรุงให้มีความถูกต้องในการซั้งน้ำหนักผลิตภัณฑ์เพื่อลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนัก

น้ำยาล้างจานที่บรรจุ เช่น ทำการสอบเทียบโพลด์เซลล์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนขนาดการบรรจุผลิตภัณฑ์ และเขียนมาตรฐานการปฏิบัติงานในรูปของบทเรียนเฉพาะจุด (One-point Lesson: OPL) ดังแสดงในภาคผนวก ง. ทำให้สามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจานคือการสูญเสีย น้ำยาล้างจานจากการบรรจุเกินหรือ giveaway ตัวแปรที่ใช้พิจารณาเพื่อชี้บ่งความสามารถในการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักน้ำยาล้างจาน คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ



รูปที่ 4.9 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน



รูปที่ 4.10 การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และ โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหนักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ ก่อนและหลังการดำเนินงาน

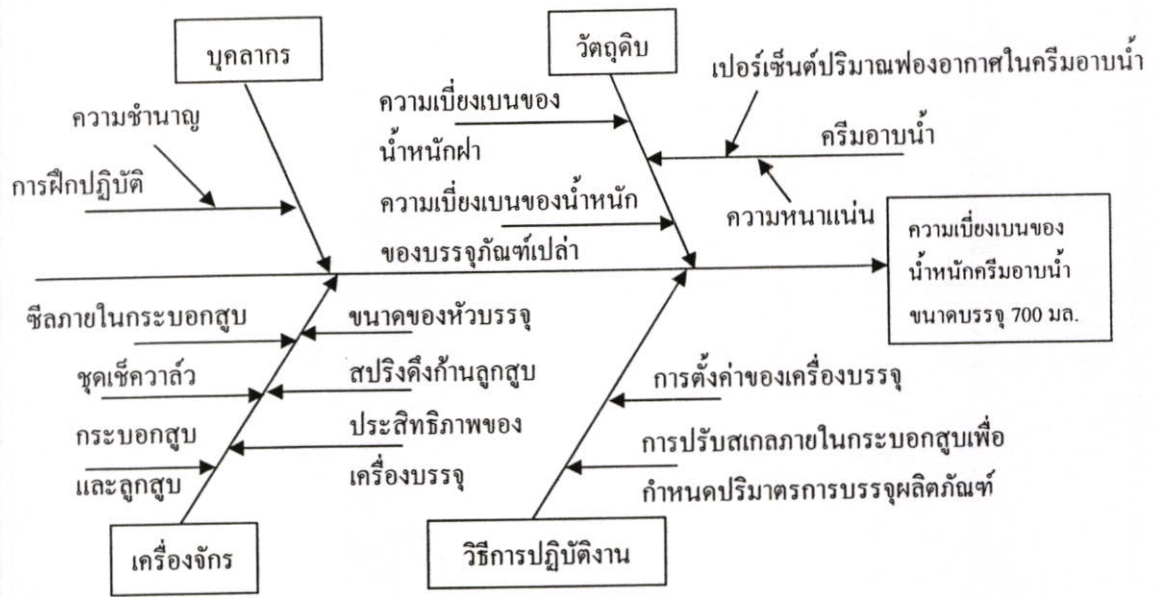
จากรูปที่ 4.9 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักร้อยยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ภายหลังจากดำเนินงานมีค่าลดลงจาก 3.24 เป็น 2.29 คิดเป็น 29% นั่นคือน้ำหนักน้ำยาล้างจานที่พิจารณามีการกระจายจากค่าน้ำหนักเฉลี่ยน้อย แสดงว่ามีระบบการจัดการและการควบคุมกระบวนการบรรจุที่ดีขึ้น ทำให้สามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักร้อยยาล้างจานได้

จากรูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน โดยเฉลี่ยก่อนดำเนินงานมีค่า 1.96 หลังจากการตรวจสอบสภาพของโหลดเซลล์ สภาพการทำงานและระบบการชั่งด้วยโหลดเซลล์ และทำการสอบเทียบโหลดเซลล์ รวมทั้งการฝึกอบรมการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องบรรจุที่ถูกต้อง พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกินมีค่าลดลงเป็น 1.67 แสดงว่าการดำเนินงานสามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักร้อยยาล้างจานที่บรรจุ นอกจากนี้พบว่าค่า DPMO หลังการดำเนินงานลดลงแสดงว่าโอกาสของการพบผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมลดลง แต่ก็มีค่าไม่มากนักเนื่องจากขีดจำกัดของน้ำหนักขอบเขตควบคุมแคบมากเพียง ± 1 กรัม จากค่าน้ำหนักมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ (185.04 กรัม) อย่างไรก็ตามแม้ค่า DPMO จะลดลงจาก 901,849 ppm เป็น 872,809 ppm แต่อยู่ที่ระดับต่ำกว่า 1 ซิกมา [19] บ่งชี้ว่าสถานะของกระบวนการอยู่ในสภาพอันตรายดังนั้นต้องเร่งสำรวจและแก้ไขปัญหากเกี่ยวกับโหลดเซลล์

4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักร้อยยาล้างจานขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร

พิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้จากรูปที่ 4.3 และปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการอื่นๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักร้อยยาล้างจานขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่สายการบรรจุ F2 จำแนกได้ 4 ปัจจัยหลัก คือ บุคลากร วัตถุดิบ เครื่องจักร และวิธีการปฏิบัติงาน พิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ โดยแยกสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้ของแต่ละปัจจัยย่อยตามแผนภาพสาเหตุและผล ดังรูปที่ 4.11

กระบวนการที่มีปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้และคาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองจำนวนมาก นอกจากพิจารณาด้วยแผนภาพสาเหตุและผลแล้ว ยังใช้ความสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างสาเหตุและผล (cause and effect matrix) ในการลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการนั้นๆ ที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 4.11 แผนภาพสาเหตุและผลของความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร

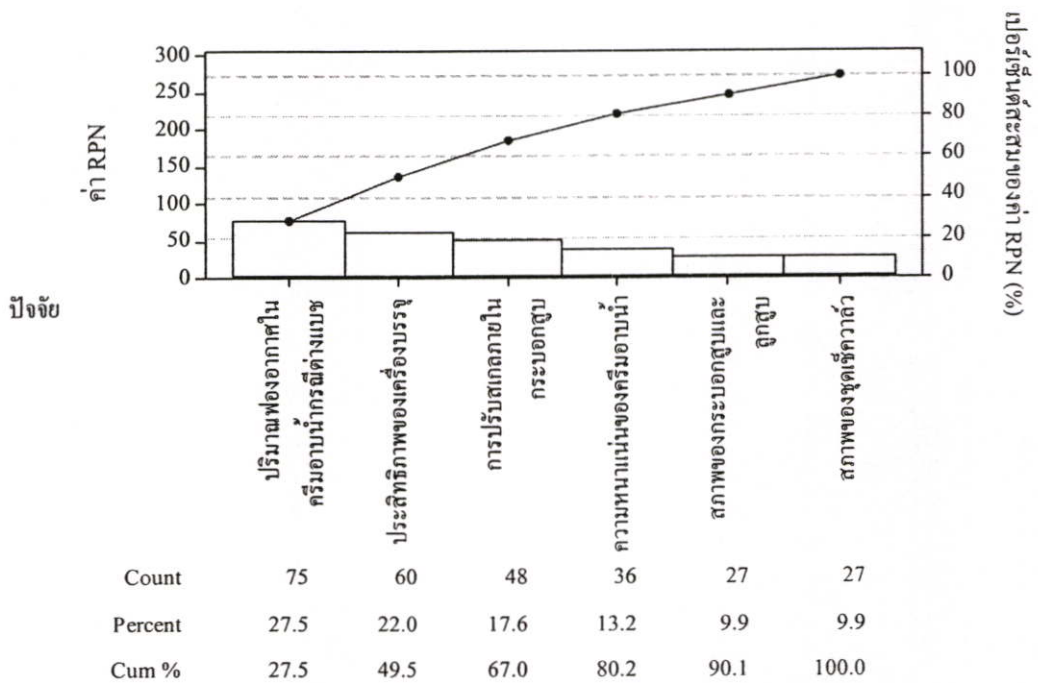
ความสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างสาเหตุและผล แสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้และคาดว่าจะมีผลต่อความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำที่บรรจุแสดงดังตารางที่ 4.6 ในการพิจารณาปัญหาความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำที่บรรจุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ทีมงานกำหนดความสำคัญของปัญหาเท่ากับ 5 คะแนน และเกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ มีดังนี้

- 0-3 ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีความสำคัญต่อความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำน้อย
- 4-6 ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีความสำคัญต่อความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำปานกลาง
- 7-10 ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการมีความสำคัญต่อความแข็งเบนของน้ำหนักครีมอบน้ำมาก

ตารางที่ 4.6 ลำดับความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่สามารถควบคุมได้และคาดว่าจะมีความเสี่ยงของน้ำหนักริมอาน้ำที่บรรจุ

ความสำคัญของปัญหาความเสี่ยงของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (A)		5 คะแนน		คิดเป็น %
ลำดับที่	ปัจจัย	ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (KPIVs)	ความสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (B) ระดับ 1-10 คะแนน	C = A×B (C/395)×100
1	บุคคล	การทำงานของพนักงาน	4	20 5.06
2	บุคคล	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในคริมอาน้ำ	10	50 12.66
3		ความหนาแน่นของคริมอาน้ำ	10	50 12.66
4		ความเข้มข้นของน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า	3	15 3.80
5		ความเข้มข้นของน้ำหนักฝา	3	15 3.80
6		สภาพของซีลภายในกระบอกสูบ	4	20 5.06
7	เครื่อง	สภาพของชุดเซ็นเซอร์	6	30 7.59
8		สภาพของกระบอกสูบและลูกสูบ	8	40 10.13
9		ขนาดของหัวบรรจุ	4	20 5.06
10		สภาพของสปริงตั้งก้านลูกสูบ	7	35 8.86
11		ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ	9	45 11.39
12	เครื่อง	การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์	7	35 8.86
13		การตั้งค่าของเครื่องบรรจุ	4	20 5.06
			ผลรวมคะแนน	395 100.00

จากปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการในตารางที่ 4.6 ที่มีคะแนนสูงระดับ 6% ขึ้นไป ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ความหนาแน่นของครีมอาบน้ำ สภาพของชุดเช็ดคว่ำ สภาพของกระบอกสูบและลูกสูบ สภาพของสปริงดิ่งก้านลูกสูบ ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ และการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการผลิตก้นของเครื่องบรรจุ วิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยนั้นๆ ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.7 และจากตัวเลขแสดงลำดับของความถี่ (RPN) ของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่างๆ ซึ่งคาดว่ามีส่วนต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำในตารางที่ 4.7 เขียนแผนภูมิพาเรโตของกลุ่มที่มีค่า RPN ระดับสูง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่างๆ ตามลำดับตัวเลขแสดงลำดับของความถี่

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่ควบคุมได้ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ

ปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะของปัจจัย	แนวโน้มของผลจากปัจจัย	ความรุนแรง (S) (1-10 คะแนน)	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไกของปัจจัย	โอกาสการเกิด (O) (1-10 คะแนน)	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับ (D) (1-10 คะแนน)	RPN = S×O×D
1. เฟอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ								
1.1 กรณีเบชเดียวกัน	สูงเกินไป	เกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ	2	แรงจ่ายครีมอาบน้ำจากถังเก็บผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการบรรจุหลายสายด้วยความเร็วสูง	3	กระบอกควงและเครื่องชั่ง	2	12
1.2 กรณีต่างเบช	สูงเกินไป	"	5	จ่ายครีมอาบน้ำที่เพิ่งผลิตเสร็จไปยังสายการบรรจุ	5	กระบอกควงและเครื่องชั่ง	3	75
2. ความหนาแน่นของครีมอาบน้ำ	ไม่ได้มาตรฐาน	"	4	คุณภาพของวัตถุดิบบางชนิดไม่คงที่	3	เครื่องวัดความหนาแน่น	3	36
3. สภาพของชุดเช็ควาล์ว	สึกหรอและ/หรือรั่ว	"	3	ขนาดของชุดเช็ควาล์วไม่พอดีกัน	3	ระบบ TPM	3	27
4. สภาพของกระบอกสูบและลูกสูบ	สึกหรอและ/หรือรั่ว	"	3	เกิดการเสียดสีระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ	3	"	3	27
5. สภาพของสปริงดึงก้านลูกสูบ	เกิดการล้าของสปริง	"	2	เนื่องจากแรงกระแทกจากระบบไฮดรอลิก	3	"	3	18
6. ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ	เกิดความแตกต่างของน้ำหนักครีมอาบน้ำจาก 8 หัวบรรจุ	"	5	ขีดจำกัดความสามารถของเครื่องบรรจุเนื่องจากอายุการใช้งานของเครื่องบรรจุ	4	"	3	60
7. การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุ	กำหนดน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุที่น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน	"	4	พนักงานกรงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง	4	ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ทุก 30 นาที	3	48

จากแผนภูมิพารेटโตเปอร์เซ็นต์สะสมของค่า RPN ของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำกรณีต่างแบบเท่ากับ 27.5% ของประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุและการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์เท่ากับ 22.0% และ 17.6% ตามลำดับ ในงานนี้จึงพิจารณาปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการทั้งสามเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุเพื่อวิเคราะห์สาเหตุแท้จริงจากปัจจัยทั้งสามนี้และดำเนินการแก้ไข

ในการตรวจวัดข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง รวมทั้งการอธิบายความสามารถของกระบวนการ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแทปนั้น ข้อมูลที่ใช้ต้องมีความพอเพียงและน่าเชื่อถือ และก่อนการเก็บข้อมูลต้องประเมินความเชื่อมั่นของระบบการวัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ถ้าระบบการวัดไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จำเป็นต้องหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบการวัด และแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุนั้น ก่อนดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดสอบ 2 ลักษณะ ดังนี้

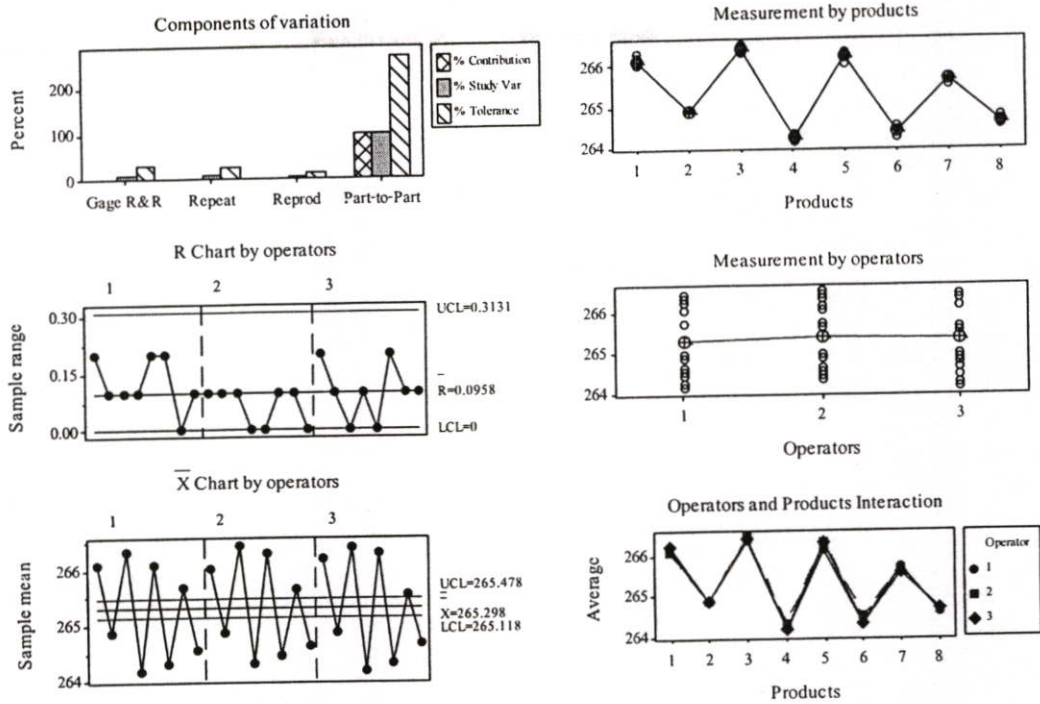
1. การทดสอบความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบทุกกะ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

- ให้พนักงานประจำเครื่องบรรจุทำความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานการปฏิบัติงานในการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตรงกันก่อนทดลอง

- สุ่มผลิตภัณฑ์จำนวน 8 ขวด จากสายการบรรจุในช่วงกลางของการผลิตเป็นชิ้นงานในการทดลอง และพนักงานประจำเครื่องบรรจุจำนวน 3 คน จาก 3 กะ ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ขวดนั้น ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ซึ่งได้รับการสอบเทียบแล้วคนละ 2 ครั้ง แสดงดังตารางที่ จ.1

- ประมวลผลความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุด้วยโปรแกรมมินิแทป

รูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.13 การประมวลผลความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป

พิจารณารูปที่ 4.13 เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของระบบการวัดได้ดังนี้

ก. พิจารณาแผนภูมิควบคุม R พบว่ากลุ่มข้อมูลมีค่าพิสัย 3 ค่า อยู่ในขอบเขตควบคุม แสดงว่าระบบการวัดมีการแยกชัดที่ละเอียดพอสมควรที่จะแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้

ข. พิจารณาแผนภูมิควบคุม \bar{X} ขอบเขตควบคุมของแผนภูมิแทนความแปรผันของระบบการวัด ทุกจุดบนแผนภูมิเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดซึ่งแสดงความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ จากแผนภูมิพบว่าไม่มีจุดออกนอกขอบเขตควบคุม แสดงว่าความแปรผันของระบบการวัดมีค่าน้อยกว่าความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต กล่าวได้ว่าระบบการวัดมีความไวที่จะตรวจวัดความแตกต่างของน้ำหนักผลิตภัณฑ์แต่ละขวดได้

ค. พิจารณาว่า number of distinct categories (ndc) กำหนดเกณฑ์การยอมรับความสามารถของระบบการวัดในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่ค่า ndc ของงานระดับอุตสาหกรรมมากกว่า 3 [4] จากตารางที่ 4.8 ค่า ndc เท่ากับ 13 แสดงว่าเครื่องชั่งที่ใช้มีการแยกชัดเหมาะสมสามารถวัดความแปรผันของผลิตภัณฑ์ได้

จากการวิเคราะห์ทั้งหมดสรุปว่าเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้ตรวจวัดข้อมูลในการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป

Two-way ANOVA table with interaction					
Source	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Products	7	33.9848	4.8550	478.3780	0.0000
Operators	2	0.0379	0.0190	1.8680	0.1910
Operators and products	14	0.1421	0.0101	1.4760	0.1950
Repeatability	24	0.1650	0.0069	-	-
Total	47	34.3298	-	-	-

Gage R&R						
Source	Component of variation	% Contribution	SD	Variation (6 SD)	% Tolerance	% Variation
Total Gage R&R	0.0091	1.11	0.0952	0.5712	28.56	10.54
- Repeatability	0.0069	0.84	0.0829	0.4975	24.87	9.18
- Reproducibility	0.0022	0.27	0.0468	0.2806	14.03	5.18
- Operators	0.0006	0.07	0.0235	0.1408	7.04	2.60
- Operators and products	0.0016	0.20	0.0405	0.2428	12.14	4.48
Part-To-Part	0.8075	98.89	0.8986	5.3916	269.58	99.44
Total variation	0.8165	100.00	0.9036	5.4217	271.09	100.00

Number of distinct categories (ndc) = 13

จากตารางที่ 4.8 สามารถประเมินความแม่นยำของระบบการวัดได้ดังนี้

ก. ค่า P/T และ P/TV เท่ากับ 28.56% และ 10.54% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 30 % แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีและผลิตภัณฑ์เสียได้ และสามารถวัดความแปรผันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ [24]

ข. ค่าจัดสรรความแปรผันของระบบการวัด (% contribution of total Gage R&R) ซึ่งบ่งชี้ความแปรผันของระบบการวัดเนื่องจากวิธีทหะบิลิตีและรีโพรดิวซิบิลิตี เกณฑ์การพิจารณาขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของทีม โดยปกติควรมีค่าไม่เกิน 7-10% ของความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้น [4] จากตารางที่ 4.8 ค่าจัดสรรความแปรผันของระบบการวัดในงานนี้เท่ากับ 1.11% จากความแปรผันทั้งหมด 100% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ค่าจัดสรรความแปรผันเนื่องจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 98.89%)

ก. พิจารณา P-Value ของอันตรกิริยาหรืออิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและผลิตภัณฑ์ (operators and products) เท่ากับ 0.195 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าพนักงานและผลิตภัณฑ์ไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งในที่นี้คือ ค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ชั่ง ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ operators and products interaction ในรูปที่ 4.13 ซึ่งแทบจะไม่มี ความแตกต่างกันของเส้นกราฟของการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องชั่งของพนักงาน

ง. พิจารณา P-Value ของข้อมูลเนื่องจากพนักงานประจำเครื่องบรรจุเท่ากับ 0.191 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าความสามารถของพนักงานประจำเครื่องบรรจุแต่ละคนไม่มีนัยสำคัญต่อการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ measurement by operators ในรูปที่ 4.13

จ. พิจารณา P-Value ของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าน้อยมาก (P-Value = 0.00) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่สุ่มมาจากสายการบรรจุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ measurement by products ในรูปที่ 4.13

2. การทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบทุกกะ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

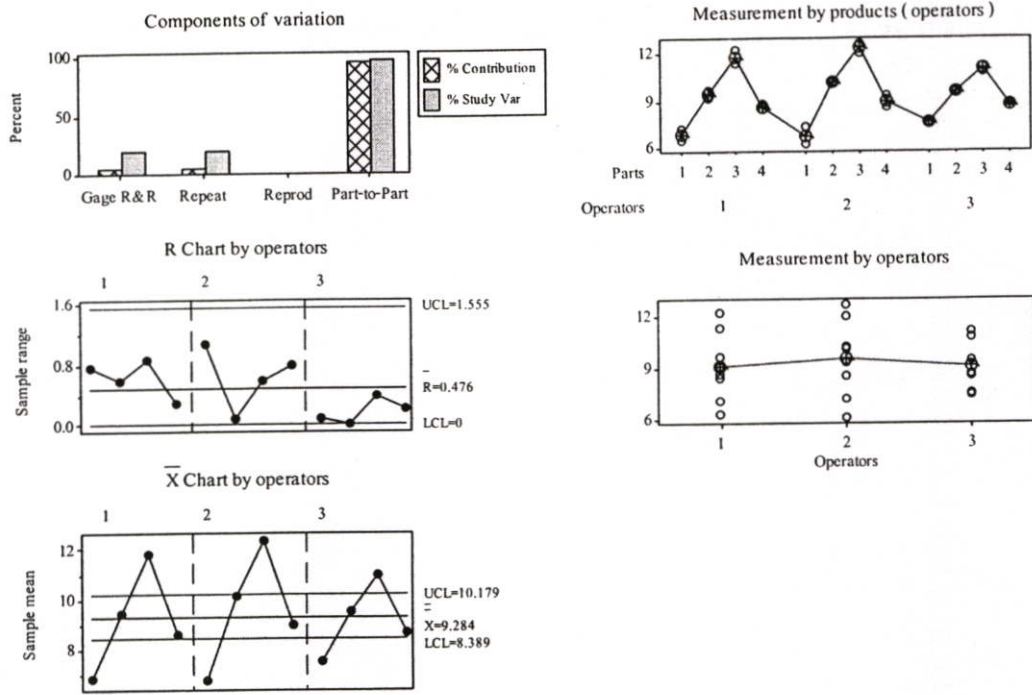
- ให้พนักงานประจำเครื่องบรรจุทำความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานการปฏิบัติงานในการหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำตรงกันก่อนทดลอง

- สุ่มผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ขวด จากสายการบรรจุในช่วงกลางการผลิต ให้พนักงานประจำเครื่องบรรจุจำนวน 3 คน จาก 3 กะ วัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแต่ละขวดคนละ 2 ครั้ง แสดงดังตารางที่ จ.2

- ประมวลผลความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุด้วยโปรแกรมมินิแทป

เนื่องจากการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำเป็นการทดสอบแบบทำลาย (destructive testing) พนักงานจะไม่สามารถวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำซ้ำจากผลิตภัณฑ์เดิมได้อีกเพราะผลของการวัดครั้งที่ 1 จะทำให้การวัดครั้งที่ 2 ไม่ถูกต้อง จึงใช้วิธี Nested ANOVA without interaction แทน two-way ANOVA with interaction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุ ซึ่งไม่พิจารณาอันตรกิริยาระหว่างพนักงานและผลิตภัณฑ์ เพราะพนักงานจะไม่วัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำซ้ำติดต่อกัน และเนื่องจากไม่มีมาตรฐานกำหนดความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance) ของค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณค่า P/T ได้

รูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.14 การประมวลผลความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป

พิจารณารูปที่ 4.14 เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของระบบการวัดได้ดังนี้

ก. พิจารณาแผนภูมิควบคุม R พบว่ากลุ่มข้อมูลมีค่าพิสัยมากกว่า 4 ค่า และอยู่ในขอบเขตควบคุม แสดงว่าระบบการวัดมีการแยกชัดที่ละเอียดที่จะแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้

ข. พิจารณาแผนภูมิควบคุม \bar{X} พบว่ามีจุดออกนอกขอบเขตควบคุม แสดงว่าความแปรผันของระบบการวัดมีค่าน้อยกว่าความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต กล่าวได้ว่าระบบการวัดมีความไวที่จะตรวจวัดความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำแต่ละขวดได้

ค. จากตารางที่ 4.9 ค่า ndc เท่ากับ 6 แสดงว่าเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำมีการแยกชัดเหมาะสมสามารถวัดความแปรผันของผลิตภัณฑ์ [4]

สรุปว่าเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้ตรวจวัดข้อมูลในการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำและการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะด้วยโปรแกรมมินิแทป

Nested ANOVA table without interaction					
Source	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Products	9	71.2350	7.9150	46.6927	0.0000
Operators	2	0.7732	0.3866	0.0488	0.9530
Repeatability	12	2.0342	0.1695		
Total	23	74.0424			
Gage R&R					
Source	Component of variation	% Contribution	SD	Variation (6 SD)	% Variation
Total Gage R&R	0.1695	4.19	0.4117	2.4703	20.48
- Repeatability	0.1695	4.19	0.4117	2.4703	20.48
- Reproducibility	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	0.00
Part-To-Part	3.8728	95.81	1.9679	11.8076	97.88
Total variation	4.04236	100.00	2.0105	12.0632	100.00
Number of distinct categories (ndc) = 6					

จากตารางที่ 4.9 สามารถประเมินความแม่นยำของระบบการวัดได้ดังนี้

ก. ค่า P/TV มีค่า 20.48% ซึ่งน้อยกว่า 30% แสดงว่าระบบการวัดสามารถวัดความแปรผันของการหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำได้

ข. ค่าจัดสรรความแปรผันของระบบการวัดในงานนี้ เท่ากับ 4.19% หมายความว่า ถ้าความแปรผันที่เกิดขึ้นทั้งหมด 100% จะมีความแปรผันจากระบบการวัดเพียง 4.19% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ค่าจัดสรรความแปรผันเนื่องจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 95.81%)

ค. พิจารณา P-Value ของข้อมูลเนื่องจากพนักงานประจำเครื่องบรรจุเท่ากับ 0.953 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าความสามารถของพนักงานประจำเครื่องบรรจุแต่ละคน ไม่มีนัยสำคัญต่อการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ measurement by operators ในรูปที่ 4.14

ง. พิจารณา P-Value ของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ พบว่ามีค่าน้อยมาก (P-Value = 0.00) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่สุ่มจากสายการบรรจุมีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟ measurement by products ในรูปที่ 4.14

จากผลของการวิเคราะห์ระบบการวัดทั้ง 2 ลักษณะ สรุปได้ว่าเครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องมือสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ และการปฏิบัติงานของพนักงานประจำเครื่องบรรจุทุกกะมีความสามารถที่จะเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือสำหรับวิเคราะห์ผลของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์สะสมของค่า RPN ในแผนภูมิพารेटโตที่ได้แสดงมาแล้ว (รูปที่ 4.12) จึงวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ ได้แก่

- เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำกรณีต่างแบบ
- ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ
- การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์

ใช้หลักการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว และทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของข้อมูลสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับ ด้วยโปรแกรมมินิแทป ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความแปรผันของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำกรณีต่างแบบ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ก. วิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบที่หัวบรรจุต่างๆ โดยสุ่มวัดค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแบบที่ 1 เปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแบบที่ 2 อย่างละ 10 ค่า ข้อมูลแสดงดังตารางที่ จ.3

กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

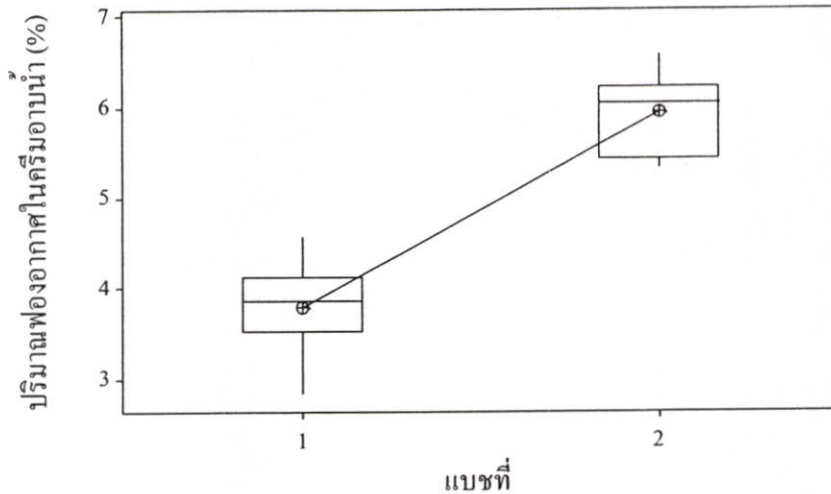
H_a : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแบบที่ 1
 μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแบบที่ 2

รูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.10 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.15 แผนภาพกล่องแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบช

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบชด้วยตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัย ที่มี 2 ระดับ

Batch No.	No.	Mean	SD	SE Mean
1	10	3.80	0.51	0.16
2	10	5.94	0.43	0.14
Difference = μ (Batch No. 1) - μ (Batch No. 2)				
Estimate for difference = -2.14				
95 % CI for difference : (-2.58764, -1.69836)				
T-test of difference = 0 (vs not =) T-Value = -10.13 P-Value = 0.00 DF = 18				
Pooled SD = 0.47				

จากรูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแบชที่ 2 สูงกว่าจากแบชที่ 1 และเมื่อพิจารณา P-Value จากตารางที่ 4.10 พบว่ามีค่าน้อยมาก (P-Value = 0.00) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เพื่อวิเคราะห์ผลของหวับรรจุต่อความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ศึกษาที่ครีมอาบน้ำจากแบชที่ 2 จาก 8 หวับรรจุ เนื่องจากมีปริมาณฟองอากาศมากกว่าแบชที่ 1 เก็บข้อมูลจากแต่ละหวับรรจุจำนวน 7 ครั้ง ดังตารางที่ จ.4 และวิเคราะห์ความ

แปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรมมินิแทป ปัจจัยที่พิจารณา คือ หัวบรรจุ ระดับของปัจจัย คือ 8 ระดับ
กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแต่ละหัวบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_a : ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแต่ละหัวบรรจุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

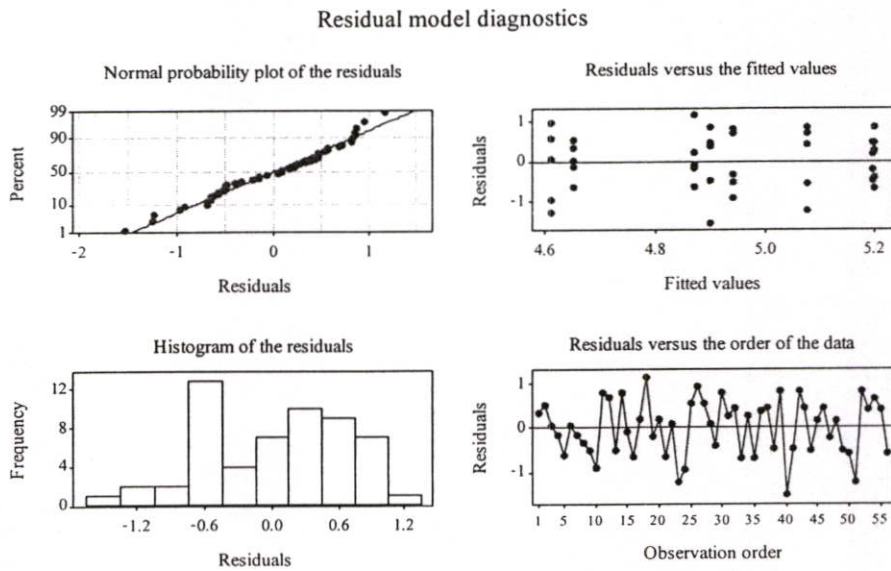
และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_8$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_8$$

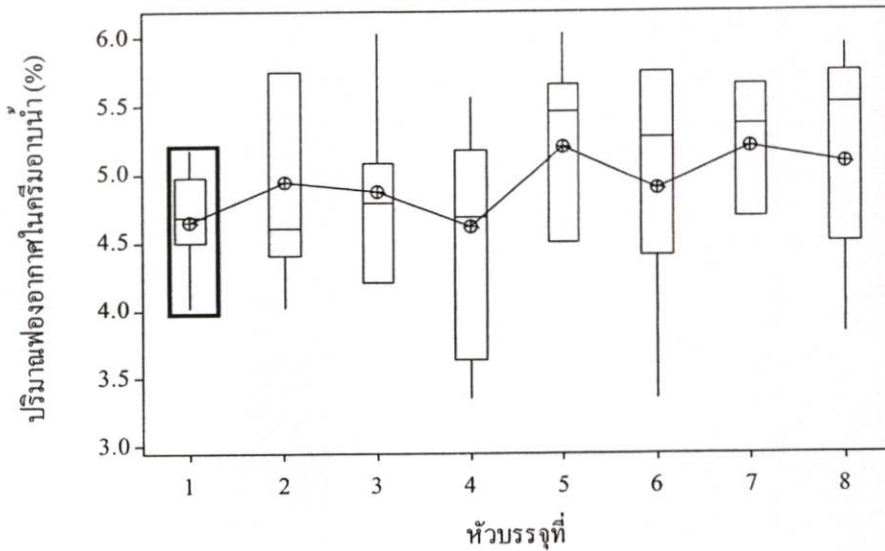
โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุ i
 i คือ หัวบรรจุ (เมื่อ $i = 1, \dots, 8$)

รูปที่ 4.16 - 4.17 และตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.16 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากแต่ละหัวบรรจุ

จากรูปที่ 4.16 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระ และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่าข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สรุปผลในตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.17 แผนภาพกล่องแสดงความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำจากเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ทั้ง 8 หัวบรรจุ

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำจากทั้ง 8 หัวบรรจุ

Source of variation	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Nozzle No.	7	2.45	0.35	0.76	0.63
Error	48	22.25	0.46	-	-
Total	55	24.70	-	-	-

จากรูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำที่หัวบรรจุต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณา P-Value จากตารางที่ 4.11 พบว่ามีค่า 0.63 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำของแบบเดียวกันจากทั้ง 8 หัวบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำจากหัวบรรจุที่ 1 น้อยที่สุด จึงเลือกหัวบรรจุที่ 1 เป็นตัวแทนในการศึกษาว่าครีมอาน้ำที่มีค่าความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศน้อยที่สุดจะมีผลกระทบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาน้ำเพียงใด

ข. วิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบรนด์ที่หัวบรรจุที่ 1 ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำด้วยโปรแกรมมินิแทป สุ่มซั่งน้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร จำนวน 10 ชุด ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบทำลาย ดังนั้นเพื่อลดความสิ้นเปลืองจึงใช้ขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร แทนขนาด 700 มิลลิลิตร

กำหนด

H_0 : เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบรนด์ที่หัวบรรจุที่ 1 ไม่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ

H_a : เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบรนด์ที่หัวบรรจุที่ 1 มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

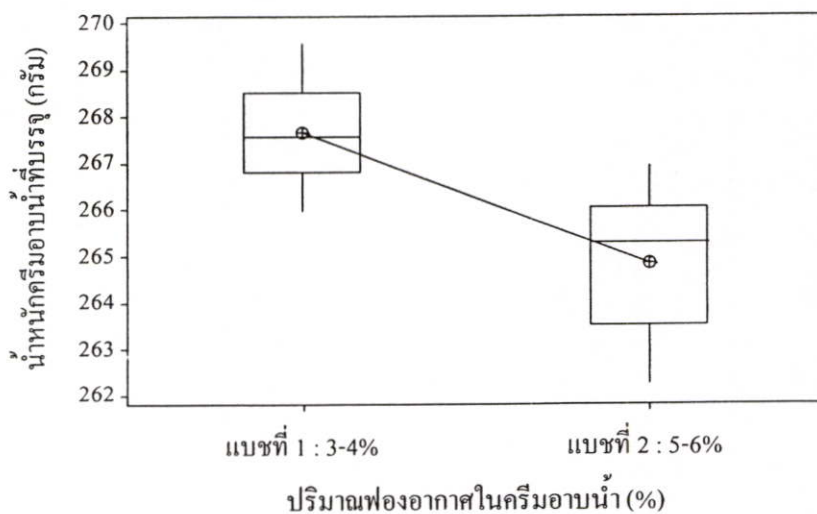
$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 1 จากแบรนด์ที่ 1 เมื่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำเท่ากับ 3-4%

μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 1 จากแบรนด์ที่ 2 เมื่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำเท่ากับ 5-6%

รูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.18 แผนภาพกล่องแสดงผลของความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบรนด์ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอาบน้ำด้วยตัวแปรสุ่มปกติ กรณี 1 ปัจจัย ที่มี 2 ระดับ

Percentage of aeration	No.	Mean	SD	SE Mean
3-4%	10	267.68	1.09	0.34
5-6%	10	264.85	1.51	0.48
Difference = μ (3-4%) - μ (5-6%)				
Estimate for difference = 2.83				
95 % CI for difference : (1.59222, 4.06778)				
T-test of difference = 0 (vs not =) T-Value = 4.80 P-Value = 0.00 DF = 18				
Pooled SD = 1.32				

จากรูปที่ 4.18 เห็นได้ถึงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบมีผลต่อน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุ และเมื่อพิจารณา P-Value จากตารางที่ 4.12 พบว่ามีค่าน้อยมาก (P-Value = 0.00) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบบมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุ ถ้าในผลิตภัณฑ์มีปริมาณฟองอากาศสูงจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุ และฝ่ายบรรจุผลิตภัณฑ์ต้องเสียเวลานานเพื่อรอให้ปริมาณฟองอากาศลดลงจึงสามารถบรรจุครีมอาบน้ำลงบรรจุภัณฑ์ได้ จากผลสรุปที่ได้นี้ฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์จึงกำหนดมาตรการควบคุมความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ เช่น ปรับปรุงกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์โดยติดตั้งท่อส่วนใหญ่ที่ใช้ล้างวัตถุดิบไว้ด้านล่างของถังผสมแทนการติดตั้งไว้ด้านบนของถังผสมเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

พิจารณาความแปรปรวนของน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุจากหัวบรรจุของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ โดยสุ่มชั่งน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุจากทั้ง 8 หัวบรรจุๆ ละ 20 ครั้ง ข้อมูลแสดงดังตารางที่ จ.6 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวที่มี 8 ระดับ ด้วยโปรแกรมมินิแทป

กำหนด

H_0 : ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุจากทั้ง 8 หัวบรรจุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_a : ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจากทั้ง 8 หัวบรรจุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถเขียนสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

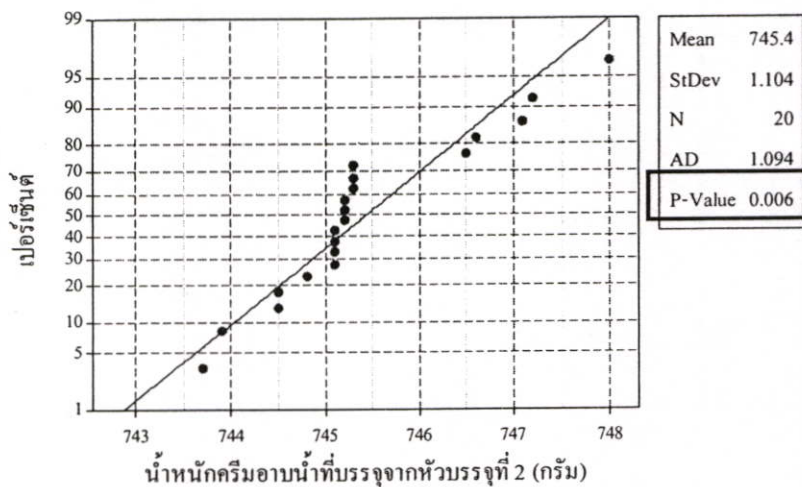
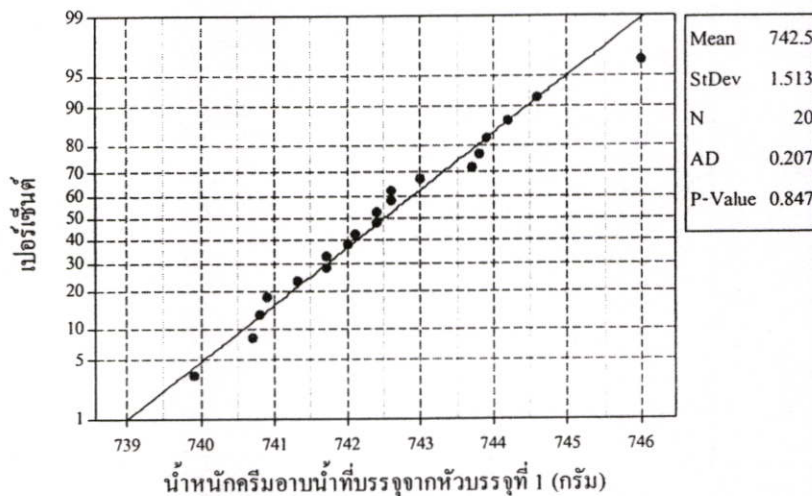
$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_8$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_8$$

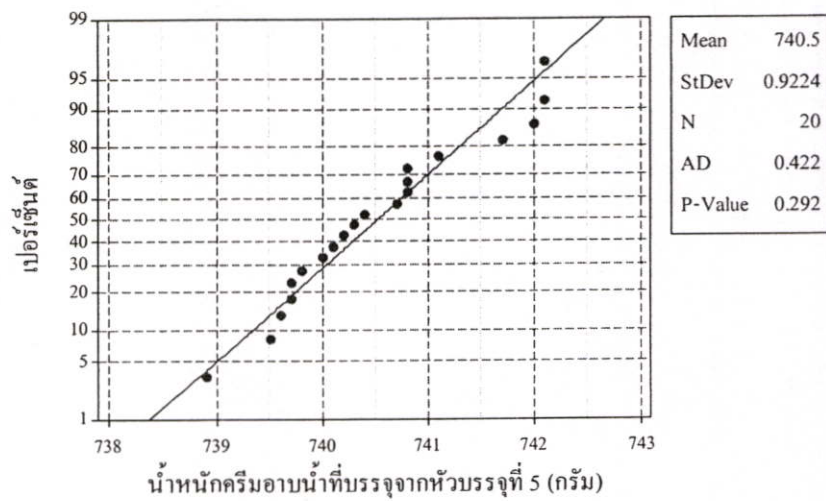
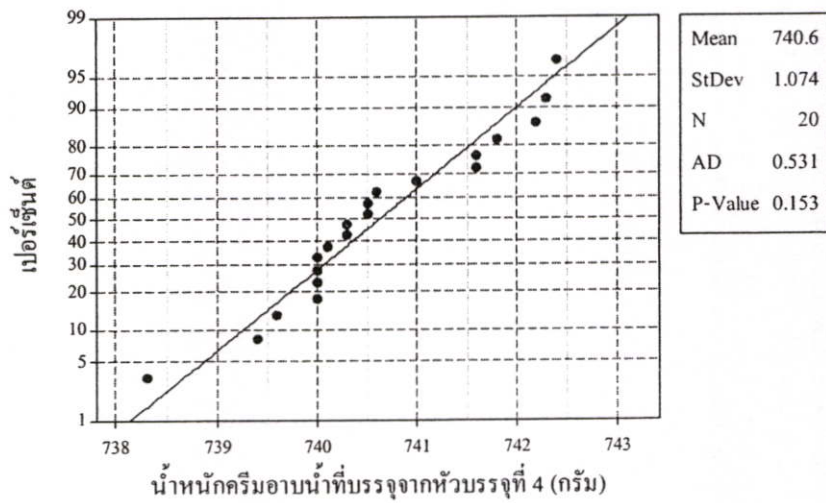
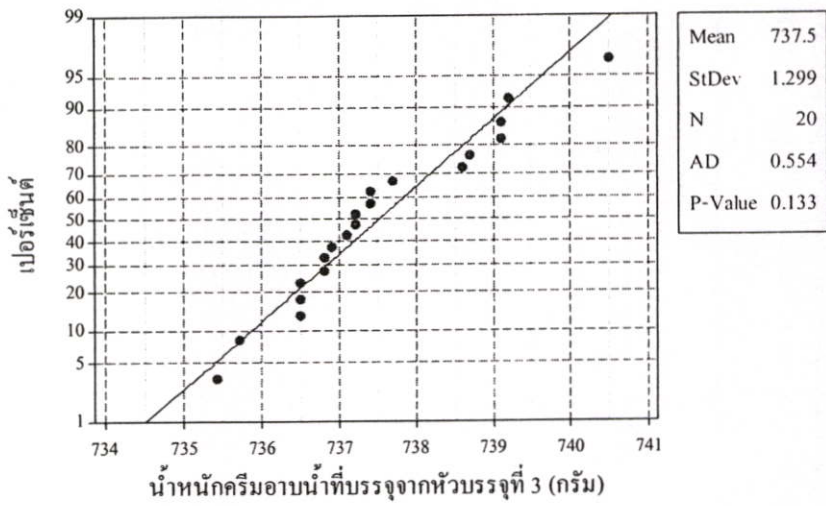
โดยที่ μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจากหัวบรรจุ i

i คือ หัวบรรจุ (เมื่อ $i = 1, \dots, 8$)

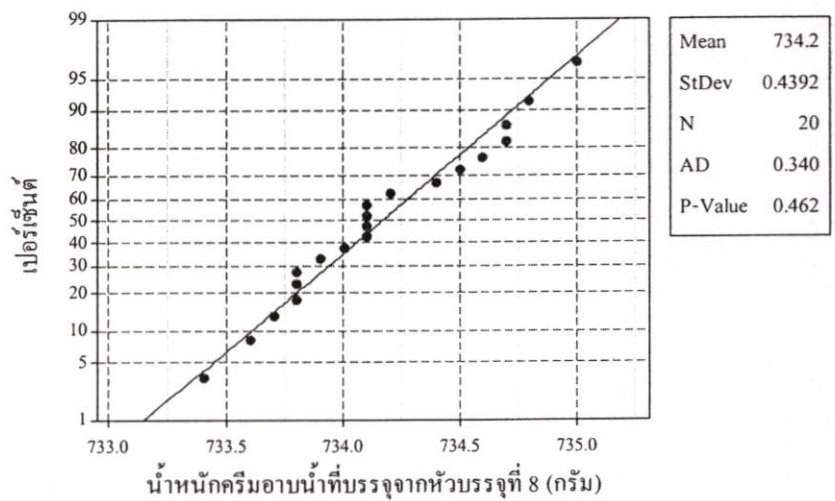
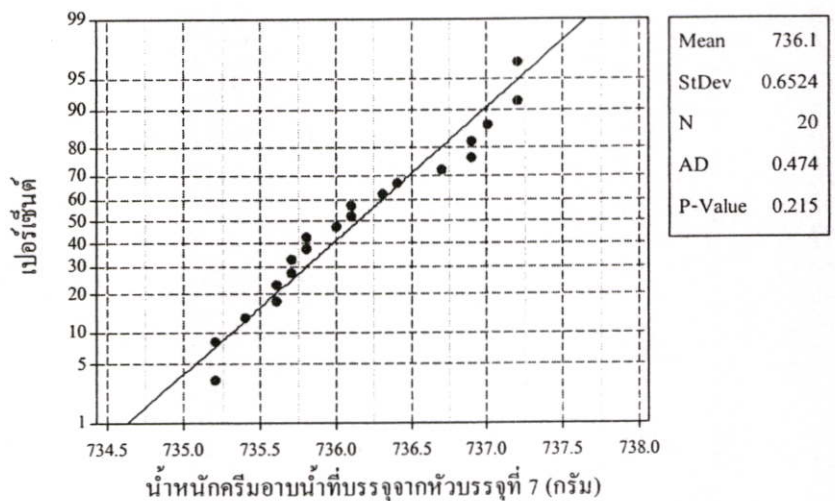
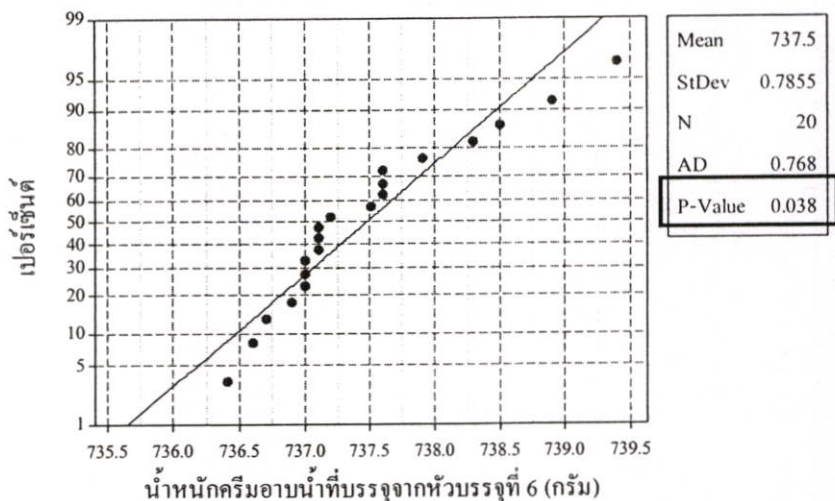
รูปที่ 4.19-4.22 และตารางที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมินิแทป



รูปที่ 4.19 กราฟ normal probability plot ของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจาก 8 หัวบรรจุ

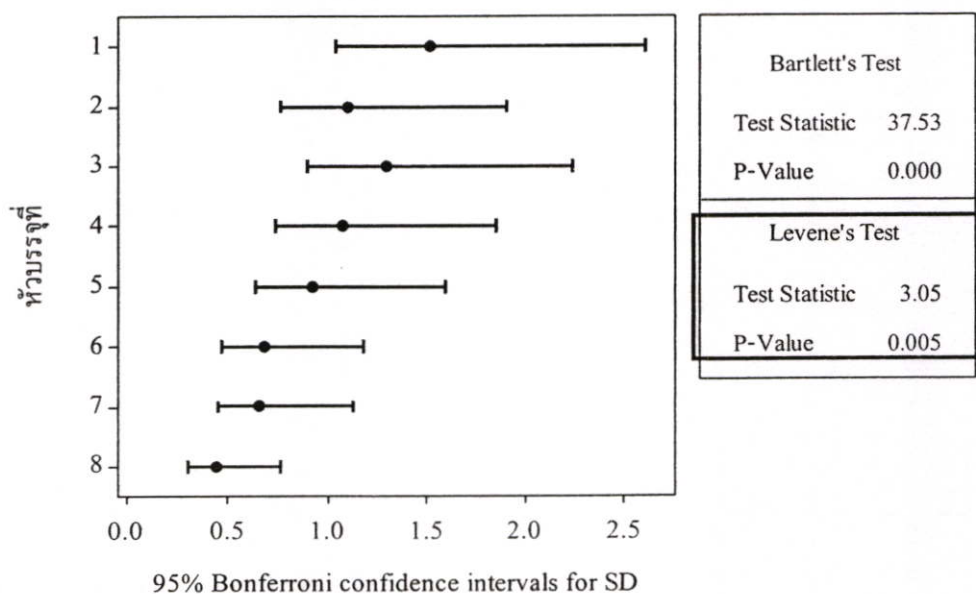


รูปที่ 4.19 (ต่อ)



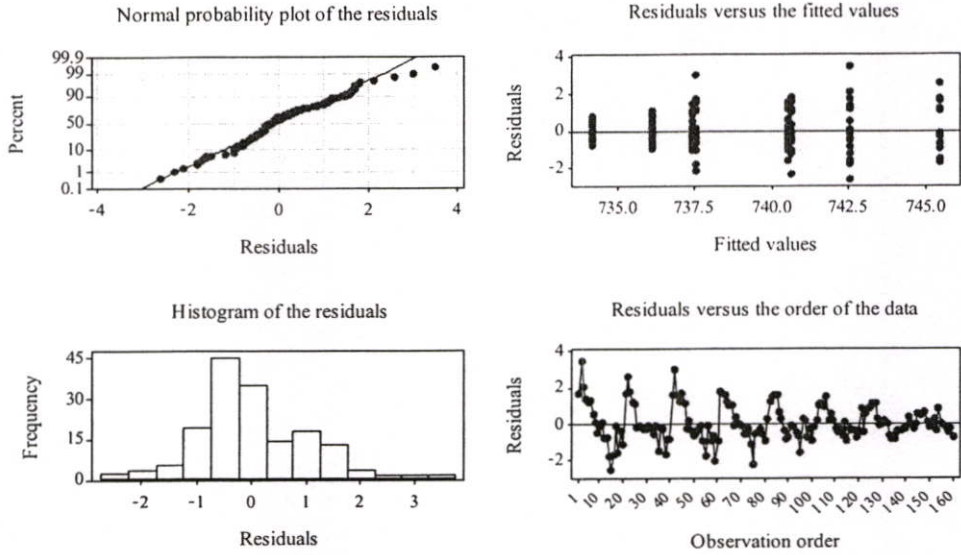
รูปที่ 4.19 (ต่อ)

รูปที่ 4.19 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ พบว่า น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากหีบบรรจุที่ 2 และหีบบรรจุที่ 6 มีความเบี่ยงเบนจากแนวเส้นตรงมากกว่า ข้อมูลจากหีบบรรจุอื่น และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.006 และ 0.038 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากหีบบรรจุที่ 2 และหีบบรรจุที่ 6 มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังนั้นใช้ Levene's test ในการยืนยันว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวนอย่างมีเสถียรภาพ หรือไม่ จากรูปที่ 4.20 พบว่า P-Value มีค่า 0.005 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และมีช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของหีบบรรจุไม่คาบเกี่ยวกัน ได้แก่ ช่วงของความเชื่อมั่นของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับปัจจัยที่ 1 กับที่ระดับปัจจัยที่ 8 แสดงว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีความแปรปรวนแบบไม่มีเสถียรภาพ นั่นคือการทำงานและสภาพของหีบบรรจุมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ



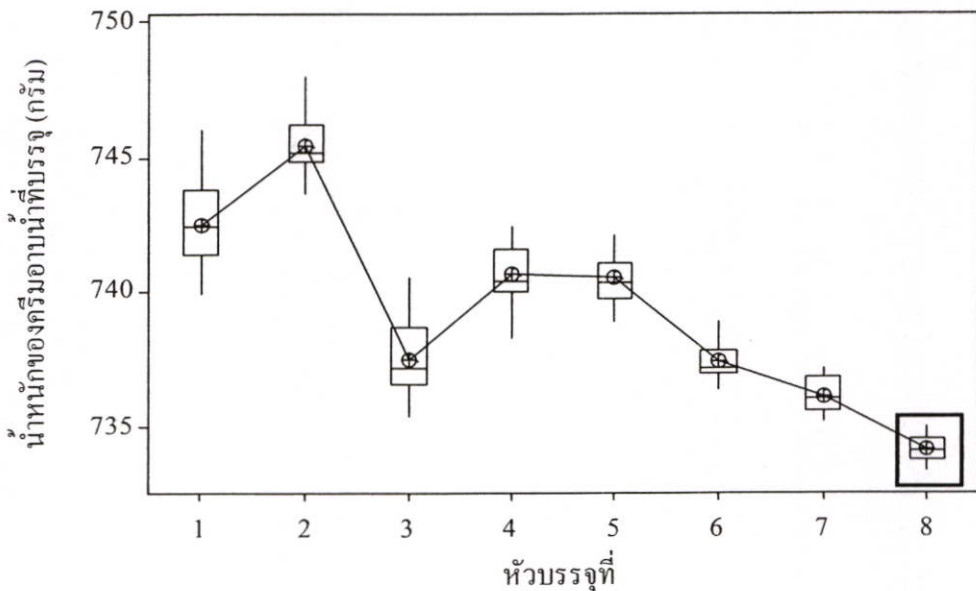
รูปที่ 4.20 แผนภาพ test for equal variance แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหีบบรรจุ

Residual plots diagnostics



รูปที่ 4.21 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากทั้ง 8 หัวบรรจุ

จากรูปที่ 4.21 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระ และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่า ข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สรุปผลรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.22 แผนภาพกล่องแสดงความแปรปรวนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจาก 8 หัวบรรจุ

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของน้ำหนักริมอบน้ำที่บรรจุ จากทั้ง 8 หัวบรรจุ

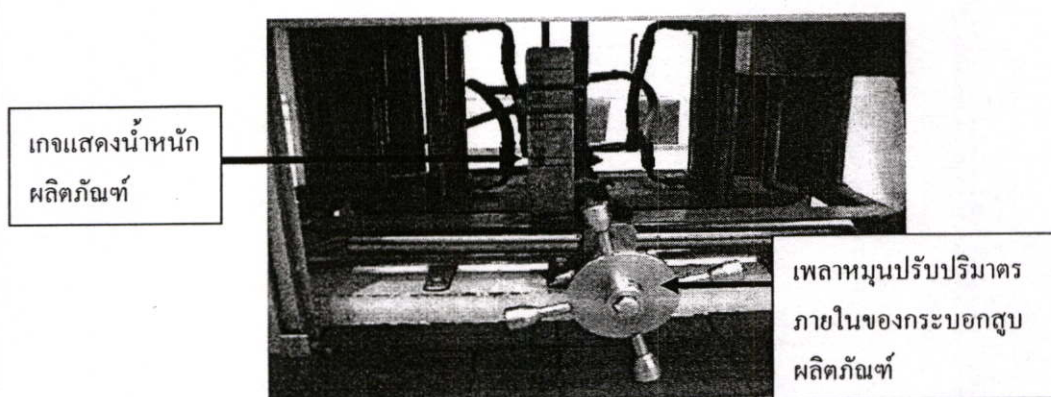
Source of variation	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Nozzle No.	7	1885.60	269.37	260.25	0.00
Error	152	157.33	1.04	-	-
Total	159	2042.93	-	-	-

จากรูปที่ 4.22 พบว่าน้ำหนักริมอบน้ำจากทั้ง 8 หัวบรรจุมีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณา P-Value จากตารางที่ 4.13 พบว่ามีค่าน้อยมาก ($P\text{-Value} = 0.00$) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าการทำงานของหัวบรรจุมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำ จากผลที่ได้จึงเลือกหัวบรรจุที่ 8 เป็นตัวแทนในการเก็บข้อมูลเพื่อการปรับสเกลภายในกระบอกสูบในการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีฟองอากาศ เพราะพบว่าหัวบรรจุที่ 8 บรรจุน้ำหนักริมอบน้ำต่ำกว่าน้ำหนักริมอบน้ำจากหัวบรรจุอื่น และอาจบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักริมอบน้ำต่ำกว่ามาตรฐานถ้ามีการปรับตั้งค่าสเกลใหม่

ภาคผนวก ฉ. แสดงระบบการบรรจุของเครื่องบรรจุและตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำ และนำเสนอการปรับปรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำ

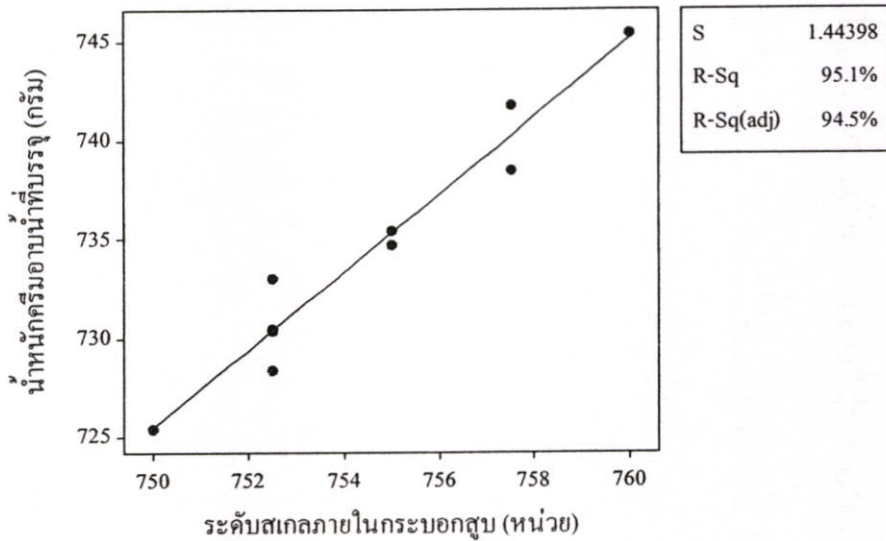
3. การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

ติดตั้งเกจแสดงน้ำหนักริมอบน้ำที่จะบรรจุดังรูปที่ 4.23 สำหรับให้พนักงานปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ได้แม่นยำก่อนที่จะปรับน้ำหนักริมอบน้ำด้วยนอตสำหรับปรับน้ำหนักริมอบน้ำโดยละเอียดให้ใกล้เคียงกับน้ำหนักริมอบน้ำมาตรฐานของคริมอบน้ำมากที่สุด



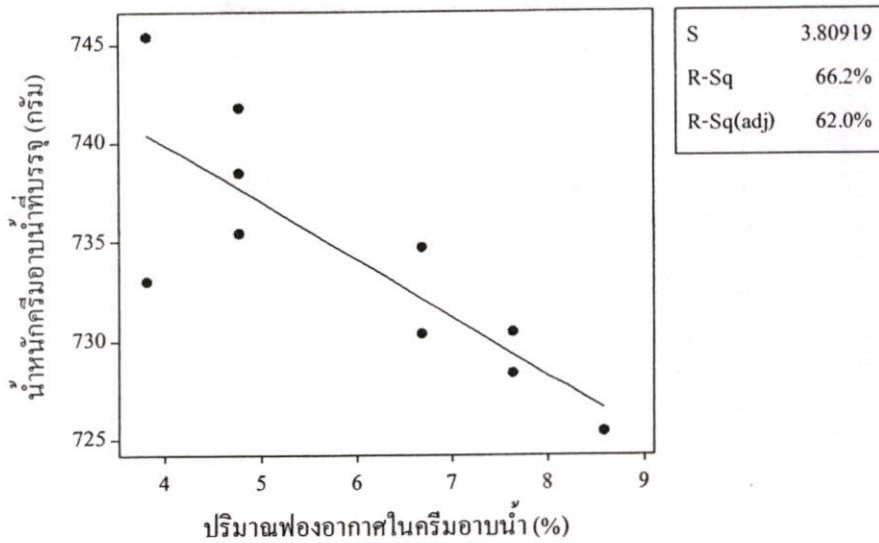
รูปที่ 4.23 เกจแสดงน้ำหนักริมอบน้ำที่เครื่องบรรจุ

การกำหนดสเกลภายในกระบอกลูกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุน้ำหนักครีมอาบน้ำ ต้องหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมาตรฐานของครีมอาบน้ำที่ต้องการบรรจุซึ่งคือตัวแปรตอบสนอง (y) กับปัจจัยต่างๆ ที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ (x) ได้แก่ ระดับสเกลภายในกระบอกลูกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุ (x_1) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (x_2) จากโปรแกรมมินิแทปที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับระดับสเกลภายในกระบอกลูกสูบและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำแสดงดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ ข้อมูลการทดลองดังตารางที่ จ.7



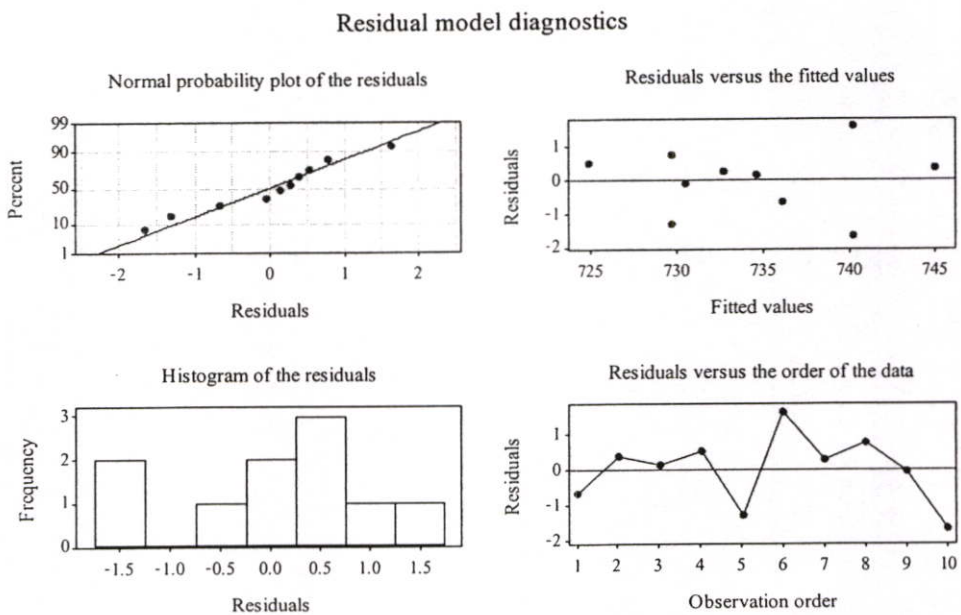
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับระดับสเกลภายในกระบอกลูกสูบ เพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับการปรับสเกลภายในกระบอกลูกสูบ เพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 4.24 มีลักษณะเชิงเส้นตรง ค่า R^2 เท่ากับ 95.1% สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำในรูปที่ 4.25 มีลักษณะเชิงเส้นตรงแบบผกผัน ค่า R^2 เท่ากับ 66.2% มากกว่าที่จะเป็นความสัมพันธ์แบบพหุนามกำลัง n



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาน้ำที่บรรจุกับเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำ

รูปที่ 4.26 และ ตารางที่ 4.14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ในการวิเคราะห์ความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของข้อมูล



รูปที่ 4.26 การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักครีมอาน้ำที่บรรจุกับการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาน้ำ

จากรูปที่ 4.26 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระ และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน กล่าวได้ว่าข้อมูลนี้มีความพอเพียงและน่าเชื่อถือที่จะใช้สำหรับการสรุปผลในตารางที่ 4.14

จากตารางที่ 4.14 พบว่าการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุครีมอาบน้ำและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุเพราะ P-Value มีค่า 0.00 และ 0.04 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ (y) การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ (x_1) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (x_2) แสดงดังสมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมีค่า R^2 เท่ากับ 97.4%

$$y = -497 + 1.64 x_1 - 0.791 x_2 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยของความสัมพันธ์ของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุกับการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ

Predictor	Coef	SE Coef	T	P-Value	VIF
Constant	-497	134.9	-3.68	0.008	
Scale	1.6381	0.177	9.25	0.00	2.1
Percentage of aeration	-0.791	0.3149	-2.51	0.04	2.1
S = 1.11943	R-Sq = 97.40%			R-Sq (adj) = 96.70%	
Analysis of Variance					
Source of variation	DF	SS	MS	F _o	P-Value
Regression	2	335.03	167.52	133.68	0.00
Residual error	7	8.77	1.25	-	-
Total	9	343.81	-	-	-

พนักงานสามารถนำความสัมพันธ์ในสมการที่ 4.1 ไปประยุกต์ใช้บรรจุครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร เมื่อทราบค่าน้ำหนักมาตรฐานของครีมอาบน้ำที่ต้องการบรรจุ (y) และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศที่มีในครีมอาบน้ำ (x_2) จะทำให้ได้ค่าสเกลที่เหมาะสม (x_1) ในการปรับระยะภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุ

กล่าว โดยสรุปในกรณีของครีมอาบน้ำเมื่อทราบปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำ คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ และการปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุ ทีมงานวิจัยจึงได้ดำเนินงานในเบื้องต้นต่อไปนี้

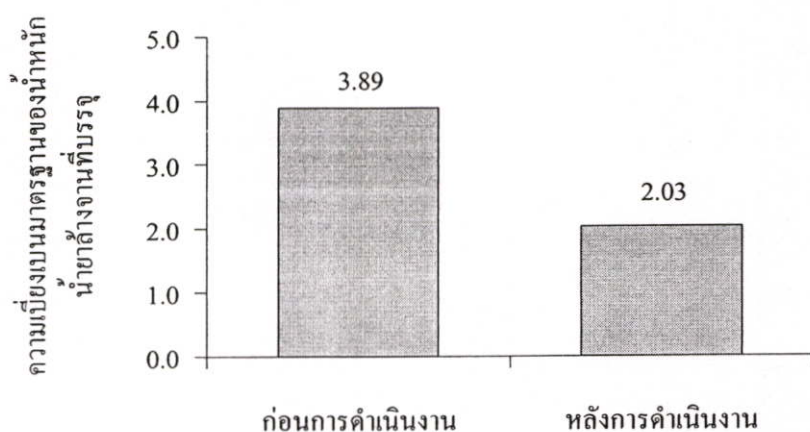
1. ปรับปรุงกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์ครีมอาบน้ำเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศในครีมอาบน้ำ โดยการติดตั้งท่อส่วนใหญ่ที่ใช้ลำเลียงวัตถุดิบไว้ด้านล่างของถังผสมแทนการติดตั้งไว้ด้านบนของถังผสม พบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 9.61 เป็น 5.1

2. กำหนดระยะชัก (stroke) ของชุดกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบให้มีค่าเท่ากับ 209.75 มิลลิเมตร ที่ทุกหัวบรรจุเพื่อลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจากทั้ง 8 หัวบรรจุ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ฉ.

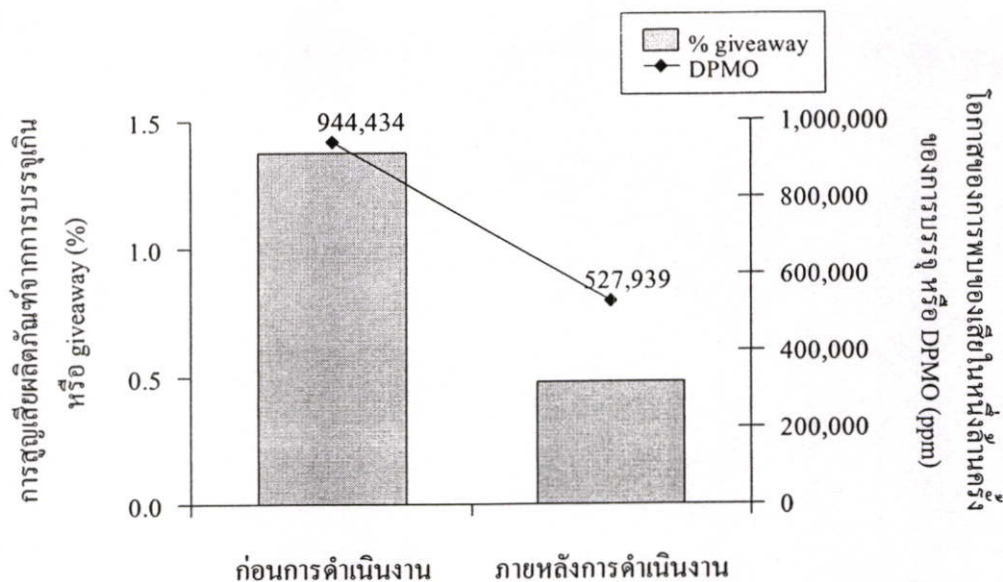
3. ปรับปรุงหัวบรรจุของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบด้วยการเปลี่ยนวาล์ว 2 ทาง ที่หัวบรรจุเป็นวาล์วทางเดียว เพื่อควบคุมจังหวะการเปิดและปิดของแต่ละหัวบรรจุให้เท่ากัน

4. สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุ การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ และเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ ให้พนักงานใช้ปรับสเกลภายในกระบอกสูบของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบในการกำหนดปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ได้แม่นยำ

จากการตรวจติดตามผลการดำเนินงานพบว่าสามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอาบน้ำลงได้ ทำให้ลดความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักริมอาบน้ำที่บรรจุ การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และลดโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุน้ำหนักริมอาบน้ำ ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28



รูปที่ 4.27 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักริมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิเมตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน



รูปที่ 4.28 การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และ โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ ก่อนและหลังการดำเนินงาน

จากรูปที่ 4.27 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ภายหลังการดำเนินงานมีค่าลดลงจาก 3.89 เป็น 2.03 คิดเป็น 48% แสดงว่ามีระบบการจัดการและการควบคุมกระบวนการบรรจุที่ดีขึ้น ทำให้สามารถลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำได้

จากรูปที่ 4.28 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน โดยเฉลี่ยก่อนดำเนินงานมีค่า 1.37 ภายหลังการปรับปรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกินมีค่าลดลงเป็น 0.48 นอกจากนี้พบว่าค่า DPMO ภายหลังการดำเนินงานลดลงแสดงว่าโอกาสของการพบผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักอยู่นอกขอบเขตควบคุมลดลง อย่างไรก็ตามแม้ค่า DPMO จะลดลงจาก 944,434 ppm เป็น 527,939 ppm แต่ก็มีค่าอยู่ในระดับ 1 ซิกม่า บ่งชี้ว่าสถานะของกระบวนการอยู่ในสภาพอันตราย [19] ดังนั้นต้องเร่งสำรวจและแก้ไขปัญหา เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหมักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ

จากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหมักน้ำยาล้างจานที่บรรจุด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว และการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณี 1 ปัจจัยที่มี 2 ระดับด้วยโปรแกรมมินิแพป พบว่าสภาวะการทำงานและระบบการชั่งด้วยโหลดเซลล์มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหมักน้ำยาล้างจานที่บรรจุ ได้จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการสอบเทียบโหลดเซลล์ ดังภาคผนวก ง.

ในการชี้แจงการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหมักน้ำยาล้างจานที่บรรจุพิจารณาจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหมักผลิตภัณฑ์ โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน จากการตรวจติดตามการปฏิบัติงานของพนักงานหลังการดำเนินงานสามารถสรุปผลดังตารางที่ 5.1 สามารถลดการสูญเสียยาล้างจานจากการบรรจุเกิน (เมื่อเทียบกับก่อนการดำเนินงาน) ประมาณ 53.4 ตัน/ปี คิดเป็นเงิน 379,370 บาท/ปี แนวทางการคำนวณเงินที่ได้จากการลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์แสดงในภาคผนวก ช.

ตารางที่ 5.1 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหมักน้ำยาล้างจาน เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และโอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหมักน้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน

ตัวแปรที่พิจารณา	ก่อนการดำเนินงาน	หลังการดำเนินงาน
ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหมักน้ำยาล้างจาน	3.24	2.29
เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน (%)	1.96	1.67
โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ (ppm)	901,849	872,809

5.2 การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล ความสัมพันธ์เมทริกซ์ระหว่างสาเหตุและผล การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ และแผนภูมิพาเรโต สามารถชี้บ่งปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักริมอบน้ำ ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอบน้ำ
- ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ
- การปรับสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักริมอบน้ำที่บรรจุ การปรับระดับของสเกลภายในกระบอกสูบที่เครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ และ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอบน้ำ ที่วิเคราะห์ด้วย โปรแกรมมินิแทป คือ

$$y = - 497 + 1.64 x_1 - 0.791 x_2$$

โดยที่ y คือ น้ำหนักริมอบน้ำที่บรรจุ (กรัม)

x_1 คือ ระดับของสเกลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์ (หน่วย)

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอบน้ำ (%)

การตรวจติดตามผลหลังการดำเนินงานสรุปผลดังตารางที่ 5.2 สามารถลดการสูญเสียครีมอบน้ำจากการบรรจุเกิน (เมื่อเทียบกับก่อนการดำเนินงาน) ประมาณ 7.1 ตัน/ปี คิดเป็นเงิน 227,840 บาท/ปี แนวทางการคำนวณเงินที่ได้จากการลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์แสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 5.2 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักริมอบน้ำ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน และ โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ น้ำหนักริมอบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร ก่อนและหลังการดำเนินงาน

ตัวแปรที่พิจารณา	ก่อนการดำเนินงาน	หลังการดำเนินงาน
ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักริมอบน้ำ	3.89	2.03
เปอร์เซ็นต์การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน (%)	1.37	0.48
โอกาสของการพบของเสียในหนึ่งล้านครั้งของการบรรจุ (ppm)	944,434	527,939

5.3 แผนควบคุมกระบวนการ (control plan)

แผนควบคุมกระบวนการใช้ควบคุมและรักษาเสถียรภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน และควบคุมความแปรผันหรือลักษณะของข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองหรือปัญหา แผนควบคุมกระบวนการควรระบุสถานที่หรือตำแหน่งที่ต้องการควบคุม ลักษณะและการแก้ไขข้อบกพร่องของปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ อุปกรณ์และระบบการวัดรวมทั้งเครื่องมือทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับวัดความแปรผันของปัจจัย ขนาดตัวอย่าง และความถี่ของการปฏิบัติงาน เป็นต้น ตัวอย่างของแผนควบคุมกระบวนการแสดงในภาคผนวก ซ.

5.4 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยมีความเห็นว่าฝ่ายบรรจุผลิตภัณฑ์ควรตรวจติดตามการสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกินเพื่อตรวจเช็คกับข้อมูลจากฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์ เพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการผสมและกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลการดำเนินงานและข้อมูลส่วนกลางของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. 2546.
- [2] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเชียเพรส จำกัด. 2547.
- [3] D. C. Montgomery and G. C. Runger. **Applied Statistics and Probability for Engineers.** 3rd Ed. New York : John Wiley & Sons. 2003.
- [4] บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. เอกสารการอบรมซิกซ์ซิกม่าสำหรับกรีนเบลท์. 2548.
- [5] F. W. Breyfogle. **Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods.** 2nd Ed. New Jersey : John Wiley & Sons. 2003.
- [6] R. Meyer and D. Krueger. **A Minitab Guide to Statistics.** 2nd Ed. London : Prentice Hall. 2001.
- [7] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.
- [8] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม (ประมวลผลด้วย Minitab). พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2545.
- [9] กัลยา วานิชย์บัญชา. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [10] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดสำหรับถ้วยชาม. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากสีเขียว. 2541.
- [11] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับสบู่. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากสีเขียว. 2541.
- [12] ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. บรรจุภัณฑ์อาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ ฯ : บริษัท ซีอีคยูเคชั่น (มหาชน). 2541.
- [13] Tenco. "Filling Machine." [Online]. Available: <http://www.stpats.com/FillingMachines.htm#enolmatic>. 2006.
- [14] Accutek Packaging Equipment Companies. "APOF Series Fillers." [Online]. Available: <http://www.accutekpackaging.com/pdfs/apofseries.pdf>. 2006
- [15] Inline Filling Systems, Inc. "Automatic Piston Fillers." [Online]. Available: <http://www.fillers.com/PISTONFILLER.htm>. 2006.

- [16] A Packing Systems. "Flow Meter Liquid Filling Machine." [Online]. Available: <http://www.apackaging.com/machines/14-flow-meter-liquid-filling-machine.asp>. 2006.
- [17] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). เอกสารประกอบการเรียนการสอนหลักสูตรแผนการปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารด้านเทคโนโลยีบริหาร TQM. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2544.
- [18] อูเมคะ มาซาโอะ. สัญญา เศรษฐพิทยากุล (แปลและเรียบเรียง). หลักการ 7 ประการสู่ความสำเร็จของ TQM. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546.
- [19] กาญจนา สุรางค์ศรีรัตน์. "Six Sigma หนทางใหม่ สำหรับแนวคิดเก่า" *Inside Quality*. ปีที่ 2, ฉบับที่ 9. กันยายน-ตุลาคม 2545. หน้า 33-36.
- [20] โกศล ดีศีลธรรม. "เส้นทางสู่คุณภาพระดับ Six Sigma" *เทคนิค*. ฉบับที่ 226. สิงหาคม 2546. หน้า 175-182.
- [21] โกศล ดีศีลธรรม. "แนวคิด Six Sigma กับเส้นทางความสำเร็จของธุรกิจ" *เทคนิค*. ฉบับที่ 221. มีนาคม 2546. หน้า 151-154.
- [22] ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์. "7 เทคโนโลยี การจัดการปรับปรุงวิสาหกิจการผลิต" *เทคโนโลยี*. ปีที่ 29, ฉบับที่ 167. กุมภาพันธ์-มีนาคม 2546. หน้า 157-160.
- [23] วิทยา สุหฤทธดำรง และ นราศรี ฉาวรกุล. "Six Sigma กลยุทธ์การจัดการระดับโลก" *Industrial Technology Review*. ฉบับที่ 104. ธันวาคม 2545. หน้า 128-131.
- [24] วิทยา สุหฤทธดำรง. *Six Sigma for Everyone*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ ฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989). 2546.
- [25] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2546.
- [26] ปรีดาร่า ธรรมเสวต. "การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยโปรแกรมมินิแทป." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [27] ฮิโตชิ โอคุระ. วิเชียร เบญจวัฒน์ผล และสมชัย อัครทิวา (แปลและเรียบเรียง). *Why – Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2545.

- [28] สมนึก บุญพาไสว. การวัดและเครื่องมือวัด (Measurement and Instrumentation). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป. 2545.
- [29] A. D. Ezekiel and G. Chen. "Weight-Variation Reduction in Pharmaceutical Filling Process through Parameter Design Aimed for Robustness" **The 5th International Conference on Engineering Design & Automation**, Las Vegas, 2001. pp. 571-576.
- [30] พัทธสิงห์ สิงหราช อยุธา. "การออกแบบและพัฒนาหัวบรรจุสำหรับเครื่องบรรจุนมขวดแบบแกววตี." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541.
- [31] ลักษณ์วี ตีระกิจวัฒนา. "การลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักไอศกรีม." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2545.
- [32] วิชัย รวิพันธ์. "การออกแบบแผนการทดลอง และการควบคุมการผลิตในแผนกบรรจุภัณฑ์: กรณีศึกษา บริษัท ฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2540.
- [33] เอกราช สินณรงค์. "การประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบการทดลองในการลดความเบี่ยงเบนของร่องกาวกล่องกระดาษลูกฟูก." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2545.
- [34] พิทักษ์ เต็มแสงเลิศ. "การลดความแปรปรวนของ Bulk density ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [35] ทรงพล พิเศษฐ์วัฒนา. "การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541.
- [36] สุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ. "อิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียรระในทรงกระบอกที่มีผลต่อความหยาบผิว." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

- [37] รดีบุรณ์ ชินสุทธิ. “การลดปริมาณผงซักฟอกที่ไม่ได้มาตรฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [38] กุลธิดา ชุนเกาะ. “การปรับปรุงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ยาสระผมในกระบวนการผสมโดยอาศัยเทคนิคสถิติ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2544.
- [39] พีรเดช สุวิทยารักษ์. “การลดปริมาณการใช้สารเคมีพีเอฟ 5060 ในการเคลือบผิวของเครื่องซีแวกซ์ในการผลิตชุดแขนอ่านและบันทึกข้อมูลฮาร์ดดิสก์ของผลิตภัณฑ์เอ็นเตอร์ไพรส์โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ซิกม่า.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2544.
- [40] J. L. Sutterby. “Viscosity at Home” *Chemtech*, July. 1985. pp. 416-419.
- [41] N. Nevers. *Fluid Mechanics for Chemical Engineers*. 2nd Ed. New York : McGraw-Hill. 1991.

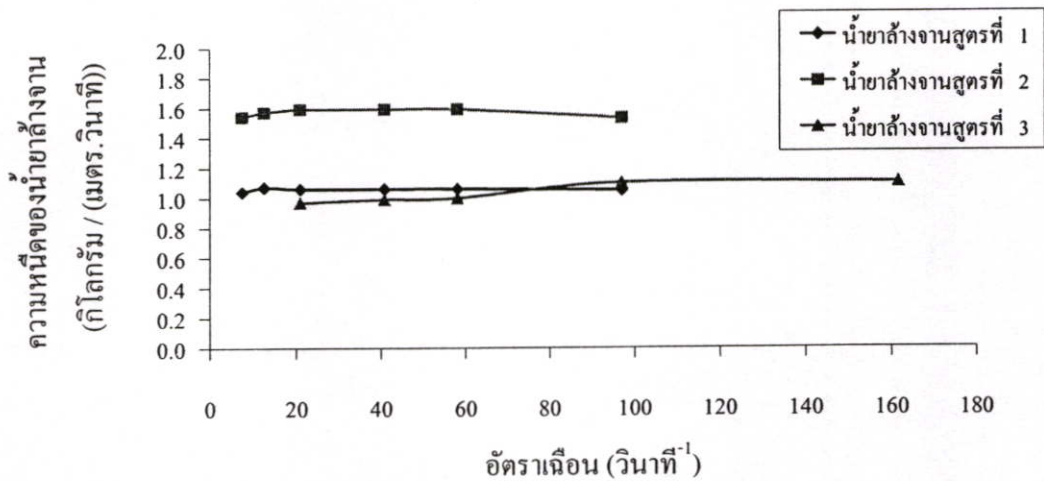
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การคำนวณความดันที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการไหลของ น้ำยาล้างจานภายในท่อทรงกระบอก

หลักการของเครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ คือ ผลิตภัณฑ์สามารถไหลผ่านท่อลำเลียงได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและใช้ความดันที่ต่ำมากเพราะผลิตภัณฑ์มีความหนืดไม่มากนัก ดังนั้นถ้าความดันที่ใช้มีค่าสูงเกินกว่าความต้องการจะทำให้เกิดปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์และเกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ

ศึกษาพฤติกรรมกรไหลของน้ำยาล้างจานเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการไหลของน้ำยาล้างจานแสดงดังรูปที่ ก.1 พบว่าความหนืดของน้ำยาล้างจานมีค่าคงที่ไม่แปรตามอัตราไหลที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารนิวโทเนียน



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราไหลของน้ำยาล้างจานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [1]

การคำนวณความหนืดใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ของความหนืด คือ กฎกำลัง (the power-law viscosity model) [40]

$$\eta = \eta_{\text{ref}} \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_{\text{ref}}} \right)^{n-1} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ η คือ ความหนืดของของไหล, กิโลกรัม/(เมตร·วินาที)

η_{ref} คือ ความหนืดอ้างอิงของของไหล, กิโลกรัม/(เมตร·วินาที)

- γ คือ อัตราเฉือนของของไหล, วินาที⁻¹
 γ_{ref} คือ อัตราเฉือนอ้างอิงของของไหล, วินาที⁻¹ ($\gamma_{ref} = 1$)
 n คือ ดัชนีการไหล, ไม่มีหน่วย
 เมื่อ $n = 1$ สำหรับสารนิวโทเนียน
 $n < 1$ สำหรับสารนอนนิวโทเนียน ประเภทซูโดพลาสติก (pseudoplastic)
 $n > 1$ สำหรับสารนอนนิวโทเนียน ประเภทไดลาแทนท์ (dilatant)

ตารางที่ ก.1 เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง [40] แสดงตัวเลขค่าของตัวแปรต่างๆ ในสมการกฏกำลังข้างต้น คือ ความหนืดอ้างอิงของของไหล (η_{ref}) ดัชนีการไหล (n) และอัตราเฉือน (γ) ของน้ำยาล้างจาน และแชมพูที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ที่น้ำยาล้างจานเป็นสารนิวโทเนียน

ตารางที่ ก.1 ตัวแปรของกฏกำลังสำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส [40]

ผลิตภัณฑ์	η_{ref} (พอยซ์)	n	γ (วินาที ⁻¹)
น้ำยาล้างจาน	1.6	1.0	ไม่แปรผันกับ γ
แชมพู	31	0.626	0.9-1,000

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันที่เปลี่ยนแปลงของของไหลซึ่งเคลื่อนที่แบบราบเรียบภายในท่อทรงกระบอก [40]

$$Q = \pi r^3 \times \left[\frac{n}{(1+3n)} \right] \times \gamma_{ref} \times \left(\frac{\tau_r}{\tau_{ref}} \right)^{1/n} \quad (ก.2)$$

โดยที่ $\tau_r = \left(\frac{r}{2} \right) \times \frac{(P_0 - P_L)}{L} \quad (ก.3)$

และ $\tau_{ref} = \eta_{ref} \times \gamma_{ref} \quad (ก.4)$

- เมื่อ Q คือ อัตราการไหล, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
 r คือ รัศมีภายในของท่อ, เมตร
 n คือ ดัชนีการไหล, ไม่มีหน่วย
 γ_{ref} คือ อัตราเฉือนอ้างอิงของของไหล, วินาที⁻¹ ($\gamma_{ref} = 1$)
 τ_r คือ แรงเฉือนที่ผนังภายในท่อของของไหล, นิวตัน/ตารางเมตร

τ_{ref}	คือ แรงเฉือนอ้างอิงที่ผนังภายในท่อของของไหล, นิวตัน/ตารางเมตร
P_0	คือ ความดันที่ตำแหน่งเริ่มต้นของของไหล, นิวตัน/ตารางเมตร
P_L	คือ ความดันที่ตำแหน่งสุดท้ายของของไหล, นิวตัน/ตารางเมตร
η_{ref}	คือ ความหนืดอ้างอิงของของไหล, กิโลกรัม/(เมตร·วินาที)
L	คือ ความยาวท่อ, เมตร

ได้แสดงแล้วว่าน้ำยาล้างจานเป็นสารนิวโทเนียน ($n=1$) และกำหนด $\gamma_{ref} = 1$ จากความสัมพันธ์ของสมการที่ ก.2-ก.4 สามารถลดรูปสมการ และได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันที่เปลี่ยนแปลงของน้ำยาล้างจาน ดังนี้

$$Q = \pi r^4 \times \left[\frac{(P_0 - P_L) + \rho g L}{8 \times \eta \times L} \right] \quad (ก.5)$$

โดยที่ ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
g	คือ ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที ²

คำนวณอัตราการไหลของน้ำยาล้างจานภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกได้จากสมการที่ ก.6 ดังนี้ [41]

$$Q = \frac{\rho g \Delta Z \times \pi D^4}{128 \times \eta \times L} \quad (ก.6)$$

โดยที่ ρ	คือ ค่าความหนาแน่นมาตรฐานของน้ำยาล้างจาน = 1,028 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
g	คือ ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง = 9.81 เมตร/วินาที ²
ΔZ	คือ ความสูงของระดับของไหลภายในถังจ่ายผลิตภัณฑ์ = 1.02 เมตร
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ = 0.008 เมตร
η	คือ ค่าความหนืดมาตรฐานของน้ำยาล้างจาน = 1 กิโลกรัม/(เมตร·วินาที)
L	คือ ความยาวท่อ = 0.9 เมตร

เมื่อแทนค่าตัวแปรข้างต้นในสมการที่ ก.6 พบว่าอัตราการไหลของน้ำยาล้างจานมีค่าเท่ากับ 1.15×10^{-6} ลูกบาศก์เมตร/วินาที และเมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ ก.5 พบว่าความดันที่เปลี่ยนแปลง (ΔP) เนื่องจากการไหลของน้ำยาล้างจานภายในท่อมามีค่าเท่ากับ 1.22×10^3 นิวตัน/ตารางเมตร หรือ 0.012 บาร์ แสดงให้เห็นว่าความดันของการไหลน้ำยาล้างจานจากถังจ่ายผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์มีค่าน้อยมาก แสดงว่าน้ำยาล้างจานไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

ภาคผนวก ข.

ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) [7]

จากบทที่ 4 ตารางที่ 4.1 ต้องการทราบค่า F_{α, v_1, v_2} ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อค่าของขั้นของความอิสระระหว่างกลุ่มข้อมูลและภายในกลุ่มข้อมูลเดียวกันซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมมินิแทปมีค่าเท่ากับ 41 และ 168 ตามลำดับ จากตาราง F distribution ค่า $F_{0.05, 41, 168}$ เท่ากับ 1.39

ตารางที่ ข.1 ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) $F_{0.25, v_1, v_2}$ เท่ากับ 0.25 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 75% [7]

$v_2 \backslash v_1$	Degrees of freedom for the numerator (v_1)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	5.83	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.63	9.67	9.71	9.76	9.80	9.85	
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.48	
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.46	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
4	1.81	2.00	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88	1.88	1.88	1.88	1.87	1.87	1.87	
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.79	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.74	
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.69	1.68	1.68	1.67	1.67	1.66	1.66	1.65	1.65	1.65	
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.58	
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53	
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.47	1.46	1.45	
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.45	1.44	1.43	1.42	
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.41	1.40	
14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38	
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30	
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.29	
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	
26	1.38	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.25	
27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24	
28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	
29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.26	1.25	1.23	
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23	
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19	
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15	
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.19	1.18	1.16	1.13	1.10	
∞	1.32	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19	1.18	1.16	1.14	1.12	1.08	1.00	

Degrees of freedom for the denominator (v_2)

ตารางที่ ข.1 ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) F_{α, v_1, v_2} เท่ากับ 0.10 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 90% [7] (ต่อ)

$v_2 \backslash v_1$	Degrees of freedom for the numerator (v_1)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.7	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33	
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49	
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13	
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76	
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10	
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72	
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47	
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29	
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16	
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06	
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97	
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90	
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85	
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80	
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76	
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63	
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61	
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.96	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55	
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53	
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50	
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49	
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48	
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47	
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.03	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46	
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38	
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29	
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19	
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00	

Degrees of freedom for the denominator (v_2)

ตารางที่ ข.1 ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) $F_{0.05; v_1, v_2}$ เท่ากับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [7] (ต่อ)

$v_2 \backslash v_1$	Degrees of freedom for the numerator (v_1)																	∞	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Degrees of freedom for the denominator (v_2)

ตารางที่ ข.1 ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) $F_{0.025, \nu_1, \nu_2}$ เท่ากับ 0.025 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 97.5% [7] (ต่อ)

$\nu_2 \backslash \nu_1$	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)																																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	2.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00	2.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.																																

ตารางที่ ข.1 ตารางการกระจายแบบ F (F distribution) $F_{0.01, v_1, v_2}$ เท่ากับ 0.01 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 99% [7] (ต่อ)

$v_2 \backslash v_1$	Degrees of freedom for the numerator (v_1)																																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.00	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.00	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76			

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดลองการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนัก
น้ำยาล้างจานขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก.1 การสุ่มชั่งน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า

ครั้งที่	น้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เปล่า (กรัม)				
	ลอตที่ 1	ลอตที่ 2	ลอตที่ 3	ลอตที่ 4	ลอตที่ 5
1	15.10	15.10	14.90	14.90	15.30
2	15.30	15.10	15.00	15.10	15.00
3	15.00	14.90	15.00	15.10	15.20
4	14.90	15.10	15.00	14.90	15.20
5	15.00	15.00	15.40	14.90	14.90
6	15.00	15.20	15.00	14.90	15.10
7	15.10	15.20	15.00	14.90	15.00
8	14.80	15.00	15.10	15.00	15.00
9	15.20	15.10	15.20	14.90	15.00
10	15.30	15.10	15.00	15.00	14.90
11	15.20	15.10	15.20	15.00	14.90
12	15.20	14.90	15.00	15.10	15.00
13	14.80	15.20	14.80	14.90	15.00
14	15.10	14.80	15.00	14.90	15.10
15	14.80	15.20	15.10	15.00	15.00
16	15.00	15.10	14.80	15.10	15.20
17	15.20	14.90	15.10	15.00	15.10
18	14.90	15.00	14.90	15.30	15.20
19	15.20	15.00	15.00	15.10	14.90
20	15.20	14.90	15.10	15.00	14.90
21	15.20	15.00	15.00	14.90	14.80
22	14.90	15.00	15.10	15.00	15.10
23	15.20	15.10	14.90	15.00	14.90
24	15.40	15.10	15.10	15.20	15.00
25	15.10	15.20	15.30	14.90	15.00
26	15.10	15.00	14.90	14.80	15.20
27	14.80	15.20	15.30	15.10	15.00
28	15.10	14.90	14.90	15.00	15.00
29	15.00	15.20	15.00	15.00	15.10
30	15.10	15.40	15.00	14.90	15.00
31	15.20	14.80	14.90	15.10	15.20
32	15.00	15.10	14.80	15.00	15.30
33	15.00	15.10	14.80	15.00	15.10
34	14.90	15.20	15.00	15.10	15.30
35	14.80	15.20	15.10	14.80	15.20
36	15.00	14.80	15.20	15.00	14.90
37	15.40	15.30	15.00	15.20	15.00
38	15.40	15.10	15.00	15.20	15.30
39	15.00	14.80	15.20	14.80	15.10
40	15.00	14.70	14.80	14.90	15.00
41	15.20	15.00	14.90	15.20	14.80
42	15.10	15.30	14.80	15.10	14.90

ตารางที่ ค.2 การสุ่มวัดความหนาแน่นของน้ำยาล้างจานในเบชเดียวกันและต่างเบช

ครั้งที่	ความหนาแน่นของน้ำยาล้างจาน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)		
	เบชที่ 1	เบชที่ 2	เบชที่ 3
1	1.027	1.026	1.026
2	1.025	1.024	1.026
3	1.025	1.024	1.026
4	1.028	1.027	1.024
5	1.028	1.025	1.027
6	1.024	1.028	1.026
7	1.028	1.027	1.026
8	1.024	1.026	1.027
9	1.029	1.025	1.027
10	1.024	1.026	1.028
11	1.026	1.027	1.024
12	1.028	1.029	1.027
13	1.027	1.026	1.028
14	1.027	1.024	1.025
15	1.028	1.024	1.026
16	1.025	1.027	1.025
17	1.024	1.025	1.028
18	1.027	1.028	1.027
19	1.026	1.023	1.023
20	1.024	1.027	1.026
21	1.024	1.025	1.026
22	1.023	1.025	1.025
23	1.027	1.024	1.027
24	1.024	1.025	1.028

ตารางที่ ค.3 การสุ่มวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจานในเบชเดียวกันและต่างเบช

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในน้ำยาล้างจาน (%)		
	เบชที่ 1	เบชที่ 2	เบชที่ 3
1	5.917	4.559	3.977
2	7.856	5.917	7.856
3	3.977	8.826	3.007
4	7.856	5.723	3.977
5	4.462	3.492	7.371
6	5.820	4.656	7.468
7	5.141	3.201	5.432
8	6.208	4.462	3.589
9	5.432	4.559	5.141
10	3.104	4.365	6.492

ตารางที่ ค.4 น้ำหนักน้ำยาล้างจานที่สุ่มจากหัวบรรจุต่างๆ และชั่งด้วยโหลคเซสต์

หัวบรรจุที่	น้ำหนักน้ำยาล้างจาน (กรัม)					
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย
1	189.00	191.00	190.00	188.00	184.00	188.40
2	191.00	188.00	185.00	189.00	189.00	188.40
3	189.00	194.00	192.00	187.00	184.00	189.20
4	188.00	192.00	189.00	192.00	191.00	190.40
5	187.00	194.00	190.00	189.00	186.00	189.20
6	190.00	189.00	188.00	188.00	190.00	189.00
7	188.00	189.00	188.00	192.00	191.00	189.60
8	187.00	188.00	190.00	193.00	190.00	189.60
9	190.00	186.00	189.00	190.00	189.00	188.80
10	189.00	186.00	189.00	188.00	188.00	188.00
11	191.00	190.00	189.00	187.00	187.00	188.80
12	180.00	189.00	187.00	191.00	190.00	187.40
13	189.00	191.00	192.00	189.00	188.00	189.80
14	186.00	192.00	192.00	189.00	192.00	190.20
15	185.00	187.00	189.00	188.00	189.00	187.60
16	192.00	190.00	185.00	189.00	189.00	189.00
17	189.00	189.00	192.00	190.00	186.00	189.20
18	188.00	190.00	189.00	188.00	189.00	188.80
19	188.00	191.00	192.00	186.00	188.00	189.00
20	190.00	189.00	188.00	188.00	189.00	188.80
21	190.00	189.00	185.00	185.00	190.00	187.80
22	190.00	189.00	190.00	191.00	187.00	189.40
23	189.00	187.00	187.00	190.00	188.00	188.20
24	190.00	188.00	188.00	194.00	191.00	190.20
25	189.00	189.00	187.00	185.00	190.00	188.00
26	190.00	187.00	187.00	191.00	189.00	188.80
27	190.00	189.00	189.00	189.00	187.00	188.80
28	187.00	188.00	188.00	189.00	192.00	188.80
29	189.00	189.00	188.00	190.00	192.00	189.60
30	190.00	189.00	189.00	189.00	187.00	188.80
31	187.00	189.00	188.00	188.00	193.00	189.00
32	189.00	187.00	189.00	188.00	184.00	187.40
33	190.00	189.00	189.00	192.00	185.00	189.00
34	187.00	190.00	192.00	190.00	189.00	189.60
35	187.00	190.00	192.00	190.00	186.00	189.00
36	189.00	193.00	190.00	191.00	190.00	190.60

ตารางที่ ค.5 น้ำหนักน้ำยาล้างจานที่สู่มจากหัวบรรจุต่างๆ และชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐาน
ภายนอกกระบวนการบรรจุ


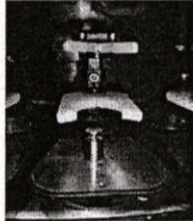

หัวบรรจุที่	น้ำหนักน้ำยาล้างจาน (กรัม)					ค่าเฉลี่ย
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	
1	193.85	194.85	195.06	191.05	188.15	192.59
2	185.95	185.55	184.25	185.55	186.45	185.55
3	186.95	192.45	185.95	188.35	185.55	187.85
4	188.55	187.75	186.55	189.25	187.15	187.85
5	186.95	187.15	188.65	186.25	190.15	187.83
6	192.45	189.15	185.25	186.25	188.65	188.35
7	187.35	189.15	193.35	190.95	190.95	190.35
8	189.15	194.55	193.15	196.15	193.55	193.31
9	185.55	184.25	187.05	187.95	183.25	185.61
10	189.25	188.55	189.45	184.45	184.55	187.25
11	188.45	183.75	185.65	185.95	186.45	186.05
12	189.35	189.45	187.35	186.05	191.65	188.77
13	191.55	188.15	189.95	185.95	188.75	188.87
14	184.15	187.85	187.75	185.75	188.55	186.81
15	187.35	184.35	188.15	186.45	189.55	187.17
16	188.75	191.25	184.35	191.55	189.15	189.01
17	194.05	187.05	184.15	189.35	189.05	188.73
18	187.85	194.85	192.55	192.15	191.55	191.79
19	190.55	187.95	192.45	187.65	186.15	188.95
20	192.45	191.25	189.15	188.15	186.55	189.51
21	186.65	190.45	185.95	191.65	189.55	188.85
22	188.05	193.45	185.95	195.75	191.45	190.93
23	189.25	188.95	192.35	195.35	191.15	191.41
24	193.45	194.55	188.25	188.45	189.35	190.81
25	193.05	191.85	192.45	190.65	189.65	191.53
26	188.75	188.95	182.75	189.35	194.25	188.81
27	193.65	187.65	190.85	194.95	193.25	192.07
28	191.45	184.95	191.75	183.65	186.05	187.57
29	191.05	191.05	193.45	192.55	193.85	192.39
30	188.75	193.95	191.85	192.15	191.75	191.69
31	195.45	188.55	191.05	190.86	189.75	191.13
32	193.05	193.25	188.95	191.15	187.55	190.79
33	191.45	194.15	193.35	188.56	190.25	191.55
34	190.25	188.25	192.55	185.45	191.45	189.59
35	184.95	187.45	188.86	186.05	192.05	187.87
36	190.25	189.85	188.85	190.15	192.55	190.33

ภาคผนวก ง.

บทเรียนเฉพาะจุด (One-point Lesson: OPL)

ง.1 การสอบเทียบโหลดเซลล์

ตารางที่ ง.1 บทเรียนเฉพาะจุดเกี่ยวกับการสอบเทียบ โหลดเซลล์ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ

หัวข้อเรื่อง	การสอบเทียบโหลดเซลล์ที่เครื่องบรรจุระบบแรงโน้มถ่วงแบบอัตโนมัติ (C2)		เลขที่อ้างอิง														
			วันที่รายงาน														
ประเภท	<input checked="" type="checkbox"/> ความรู้พื้นฐาน	<input type="checkbox"/> การแก้ไขปรับปรุง	ผู้จัดการแผนก	หัวหน้ากลุ่ม	รายงานโดย												
	<input type="checkbox"/> ความยุ่งยาก/ ปัญหาที่เกิดขึ้น	<input type="checkbox"/> ความปลอดภัย/สุขภาพ/ สถานะแวดล้อม															
<p>การสอบเทียบโหลดเซลล์</p> <ol style="list-style-type: none"> เปิดเครื่องบรรจุเพื่อเข้าโปรแกรมการสอบเทียบ โหลดเซลล์ กด F4 เพื่อเลือกโปรแกรมการสอบเทียบ พร้อมใส่รหัสผ่าน กด F9 เพื่อเลือกช่วงของน้ำหนักที่ต้องการสอบเทียบและสอดคล้องกับน้ำหนักของคีมน้ำหนักมาตรฐาน ใช้คีมน้ำหนักมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบแล้วและมีน้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุสอบเทียบ โหลดเซลล์ ควรสวมถุงมือทุกครั้งที่ยึดคีมน้ำหนักมาตรฐานเพื่อป้องกันความผิดพลาดของค่าน้ำหนักของคีมน้ำหนักมาตรฐานในระยะยาว  <ol style="list-style-type: none"> กด F8 เพื่อเริ่มการสอบเทียบ โดยวางคีมน้ำหนักมาตรฐานที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแป้นรองบรรจุภัณฑ์เพื่อให้เกิดสมดุลในการชั่งน้ำหนักของโหลดเซลล์  <ol style="list-style-type: none"> กด F8 อีกครั้งเพื่อกำหนดสมดุลใหม่ให้แก่โหลดเซลล์ที่หวับรรจุนั้นๆ กด F2 เพื่อเลื่อนตำแหน่งของการสอบเทียบ โหลดเซลล์ไปยังหวับรรจุถัดไป 																	
<p>หมายเหตุ ควรสอบเทียบโหลดเซลล์ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดการบรรจุ</p>			<p>ผลที่ได้รับ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>วันที่</th> <th>ผู้ถ่ายทอด</th> <th>ผู้ได้รับการถ่ายทอด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			วันที่	ผู้ถ่ายทอด	ผู้ได้รับการถ่ายทอด									
วันที่	ผู้ถ่ายทอด	ผู้ได้รับการถ่ายทอด															
																	

ง.2 การวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์

ปัญหาปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์มักเกิดขึ้นชั่วคราวหลังจากการผสมผลิตภัณฑ์เสร็จ ทำให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลานั้นลดลง ดังนั้นเมื่อต้องการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งผสมเสร็จและหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการบรรจุน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักขอบเขตควบคุมและต้องทำงานรีเวิร์ค พนักงานจึงปฏิบัติดังนี้


1. ใช้น้ำหนักมาตรฐานตามกำหนดของผลิตภัณฑ์เป็นน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดล่าง และน้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบนเดิมเป็นค่ากลางของน้ำหนักขอบเขตควบคุมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าการควบคุมการบรรจุน้ำหนักผลิตภัณฑ์ไม่แม่นยำจะทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเกิน

2. ลดความเร็วรอบของการบรรจุลงเพื่อป้องกันความแปรผันของปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์และการเกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ทำให้ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ (productivity) ลดลง

ด้วยเหตุนี้ฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์จึงกำหนดมาตรการเพื่อควบคุมความแปรปรวนของปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ เช่น ปรับปรุงกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์โดยติดตั้งท่อส่วนใหญ่ที่ใช้ลำเลียงวัตถุดิบไว้ด้านล่างของถังผสมแทนการติดตั้งไว้ด้านบนของถังผสม ตรวจสอบและคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งผสมเสร็จต้องมีค่าไม่เกิน 5% ตัวอย่างผลจากการดำเนินงานพบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงจาก 9.61 เป็น 5.1

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งผสมเสร็จพิจารณาจากน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขณะนั้นมีฟองอากาศเทียบกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านการเซนตริฟิวส์แล้ว 3 นาที [1] ขั้นตอนการวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 บทเรียนเฉพาะจุดเกี่ยวกับขั้นตอนการวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์

หัวข้อเรื่อง	การวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์			เลขที่อ้างอิง		
				วันที่รายงาน		
ประเภท	<input checked="" type="checkbox"/> ความรู้พื้นฐาน	<input type="checkbox"/>	การแก้ไขปรับปรุง	ผู้จัดการแผนก	หัวหน้ากลุ่ม	รายงานโดย
	<input type="checkbox"/> ความยุ่งยาก/ ปัญหาที่เกิดขึ้น	<input type="checkbox"/>	ความปลอดภัย/สุขภาพ/ สภาวะแวดล้อม			
การวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ 1. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศจากถังเก็บผลิตภัณฑ์ 2. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวงเปล่าที่แห้งขนาด 100 มิลลิลิตร และกด tare น้ำหนักของกระบอกตวงเปล่า 3. ค่อยๆ เทตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลงกระบอกตวงที่ชั่งน้ำหนักแล้ว 100 มิลลิลิตร ระวังเลอะปากกระบอกตวง  4. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวงพร้อมผลิตภัณฑ์ที่ต้องการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศ บันทึกค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ชั่งได้เรียกว่า fresh weight 5. นำผลิตภัณฑ์บางส่วนไปเซนตริฟิวส์ 3 นาที เพื่อกำจัดปริมาณฟองอากาศ 6. ค่อยๆ เทผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเซนตริฟิวส์ลงกระบอกตวงที่ชั่งน้ำหนักแล้ว จำนวน 100 มิลลิลิตร ระวังเลอะปากกระบอกตวง 7. ชั่งน้ำหนักของกระบอกตวงพร้อมผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเซนตริฟิวส์แล้ว บันทึกค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ชั่งได้เรียกว่า aged weight 8. คำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ = $\frac{\text{aged weight} - \text{fresh weight}}{\text{aged weight}} \times 100$						
หมายเหตุ				ผลที่ได้รับ		
				วันที่	ผู้ถ่ายทอด	ผู้ได้รับการถ่ายทอด

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการทดลองการลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนัก
ครีมอาบน้ำขนาดบรรจุ 700 มิลลิลิตร

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักครีมอาบน้ำที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ภายนอกกระบวนการบรรจุ
โดยพนักงานประจำเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

ผลิตภัณฑ์ ชั้นที่	น้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุ (กรัม)					
	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	266.00	266.20	266.10	266.00	266.10	266.30
2	264.80	264.90	264.80	264.90	264.80	264.90
3	266.30	266.40	266.40	266.50	266.40	266.40
4	264.20	264.10	264.30	264.30	264.20	264.10
5	266.20	266.00	266.30	266.30	266.30	266.30
6	264.40	264.20	264.40	264.50	264.40	264.20
7	265.70	265.70	265.60	265.70	265.60	265.50
8	264.60	264.50	264.60	264.60	264.70	264.60

ตารางที่ จ.2 เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำที่วัดโดยพนักงานประจำเครื่องบรรจุ
ระบบความดันและกระบอกสูบ

ผลิตภัณฑ์ ชั้นที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (%)					
	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	7.18	6.41	6.21	7.28	7.57	7.48
2	9.13	9.71	10.19	10.10	9.51	9.51
3	11.36	12.23	12.04	12.62	11.17	10.78
4	8.74	8.45	9.32	8.54	8.74	8.54

ตารางที่ จ.3 เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากเบชเดียวกันและต่างเบช

ผลิตภัณฑ์ชั้นที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (%)	
	เบชที่ 1	เบชที่ 2
1	4.57	5.81
2	4.48	5.43
3	3.62	5.43
4	4.00	6.19
5	2.86	5.33
6	3.81	6.57
7	3.90	6.00
8	3.24	6.10
9	3.62	6.38
10	3.90	6.19

ตารางที่ จ.4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากเบชเดียวกันจาก 8 หัวบรรจุ

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุ (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.98	4.60	4.79	4.69	4.79	5.27	5.65	4.50
2	5.17	4.41	4.21	3.35	6.03	5.36	4.69	3.83
3	4.69	4.02	5.08	3.64	5.46	4.41	5.36	5.94
4	4.50	5.75	6.03	5.17	5.65	5.75	5.65	5.51
5	4.02	5.65	4.69	5.56	4.50	3.35	4.98	5.75
6	4.69	4.41	5.08	5.17	5.46	4.41	5.36	5.51
7	4.50	5.75	4.21	4.69	4.50	5.75	4.69	4.50

ตารางที่ จ.5 ผลของเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำจากต่างแบรนด์ต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 1

ครั้งที่	น้ำหนักครีมอาบน้ำ (กรัม)	
	แบรนด์ที่ 1 ปริมาณฟองอากาศ 3-4%	แบรนด์ที่ 2 ปริมาณฟองอากาศ 5-6%
1	266.88	266.35
2	267.88	266.95
3	265.98	265.55
4	266.58	265.45
5	267.48	265.95
6	269.58	263.65
7	268.38	264.05
8	267.68	265.15
9	268.98	263.15
10	267.38	262.25

ตารางที่ จ.6 น้ำหนักครีมอาบน้ำจาก 8 หัวบรรจุ

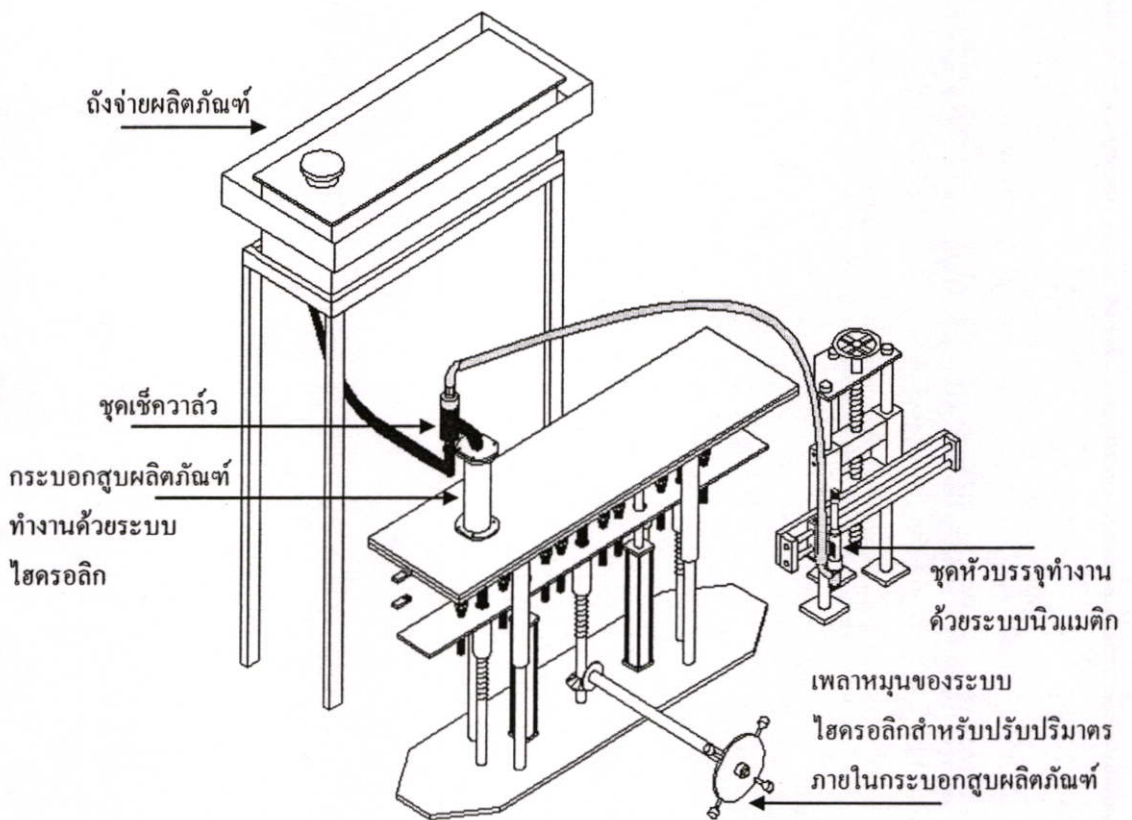
ครั้งที่	น้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุ (กรัม)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	744.20	747.10	739.10	742.40	740.80	737.20	736.90	734.50
2	746.00	748.00	740.50	742.30	741.70	737.60	735.60	734.10
3	744.60	747.20	739.10	742.20	742.00	738.40	736.70	733.80
4	743.90	746.60	738.70	741.80	742.10	738.50	736.90	734.10
5	743.70	746.50	739.20	741.60	742.10	738.30	737.00	734.70
6	743.80	745.20	738.60	741.60	741.10	738.90	737.20	734.60
7	743.00	745.30	737.20	740.50	740.80	737.60	737.20	734.70
8	742.60	745.20	737.70	741.00	740.10	737.90	736.40	734.80
9	742.00	745.10	737.10	740.60	739.60	737.60	736.00	734.20
10	742.40	745.10	736.80	740.50	739.70	737.10	736.10	733.90
11	742.60	745.30	736.90	740.00	740.40	736.90	736.30	734.10
12	741.70	745.10	737.20	740.00	740.30	737.10	736.10	734.40
13	741.70	744.80	737.40	740.30	740.00	736.70	735.40	733.70
14	740.70	745.30	736.50	739.40	739.80	737.50	735.20	735.00
15	739.90	743.90	735.70	738.30	738.90	736.40	735.20	734.10
16	740.80	745.20	737.40	740.00	740.80	737.10	735.60	734.00
17	742.40	745.10	736.50	740.10	740.70	737.00	735.70	733.80
18	740.90	743.70	736.80	740.30	739.70	737.00	735.70	733.60
19	742.10	744.50	735.40	740.00	740.20	736.60	735.80	733.80
20	741.30	744.50	736.50	739.60	739.50	737.00	735.80	733.40

ตารางที่ จ.7 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 8 กับระดับสเตลภายในกระบอกสูบเพื่อกำหนดปริมาณการบรรจุและเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ

น้ำหนักครีมอาบน้ำจากหัวบรรจุที่ 8 (กรัม)	ระดับสเตลภายในกระบอกสูบ (หน่วย)	ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ (%)
735.40	755.00	4.76
745.40	760.00	3.81
734.70	755.00	6.67
725.40	750.00	8.57
728.40	752.50	7.62
741.80	757.50	4.76
733.00	752.50	3.81
730.50	752.50	7.62
730.40	752.50	6.67
738.50	757.50	4.76

การปรับปรุงเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบ

พิจารณาระบบการทำงานของเครื่องบรรจุระบบความดันและกระบอกสูบที่แสดงเส้นทางการไหลของครีมอาบน้ำจากถังจ่ายผลิตภัณฑ์ไปยังกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และหัวบรรจุดังรูปที่ ฉ.1 ใช้หลักการวิเคราะห์จุดที่กระบวนการสัมผัสกับชิ้นงาน (Process Point Analysis: PPA) หาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุเพื่อลดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจากหัวบรรจุต่างๆ ดังตารางที่ ฉ.1



รูปที่ ฉ.1 เส้นทางการไหลของครีมอาบน้ำจากถังจ่ายผลิตภัณฑ์ไปยังกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และหัวบรรจุตามลำดับ [1]

ตารางที่ ๑.1 การวิเคราะห์จุดที่กระบวนการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์และมาตรการแก้ไข

จุดที่กระบวนการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์	มาตรการแก้ไข
1. ถึงจ่ายผลิตภัณฑ์	
1.1 เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในครีมอาบน้ำ	- มาตรการควบคุมเปอร์เซ็นต์ปริมาณฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ของฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์
1.2 ระดับของครีมอาบน้ำในถึงจ่ายผลิตภัณฑ์	- กำหนดที่ระดับ 20 - 30 เซนติเมตร จากด้านล่างของถึงจ่ายผลิตภัณฑ์
1.3 ความหนืดของครีมอาบน้ำ	- ตามข้อกำหนดการควบคุมความหนืดของผลิตภัณฑ์ของฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์
1.4 ความหนาแน่นของครีมอาบน้ำ	- ตามข้อกำหนดการควบคุมความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของฝ่ายผสมผลิตภัณฑ์
2. ชุดกระบอกสูบผลิตภัณฑ์	
2.1 สปริงภายในชุดเช็ควาล์ว	- เปลี่ยนเมื่อครบระยะเวลาหรือเมื่อพบว่าสปริงล้า สังเกตได้จากระยะช่วงเกลียว (pitch) ของสปริงที่กว้างขึ้น
2.2 ชุดเช็ควาล์ว	- ตรวจสอบสภาพของชุดเช็ควาล์วและเปลี่ยนอะไหล่เมื่อครบระยะเวลา
2.3 ระยะเวลาภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์	- กำหนดระยะเวลาของทุกกระบอกสูบผลิตภัณฑ์เท่ากัน รายละเอียดแสดงในตารางที่ ๑.2-๑.3
2.4 ความดันจากระบบไฮดรอลิก	- กำหนดที่ 30 – 40 บาร์
3. ชุดหัวบรรจุ	
3.1 ระยะเวลาของหัวบรรจุ (จังหวะการเปิดและปิด)	- เปลี่ยนวาล์ว 2 ทางที่หัวบรรจุเป็นวาล์วทางเดียวเพื่อควบคุมจังหวะการเปิดและปิดให้เท่ากัน

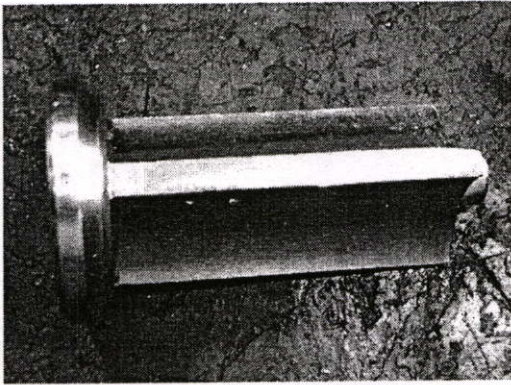
จากการวิเคราะห์จุดที่กระบวนการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ในตารางที่ ๑.1 พบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมอาบน้ำที่บรรจุจาก 8 หัวบรรจุ ได้แก่ สภาพของสปริงภายในชุดเช็ควาล์ว สภาพของชุดเช็ควาล์ว ระยะเวลาภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ และชุดหัวบรรจุรูปที่ ๑.2 แสดงสปริง อุปกรณ์ภายในชุดเช็ควาล์ว และการทดสอบการรั่วของชุดเช็ควาล์ว

การปรับปรุงปัจจัยดังกล่าวในเบื้องต้นมีดังนี้

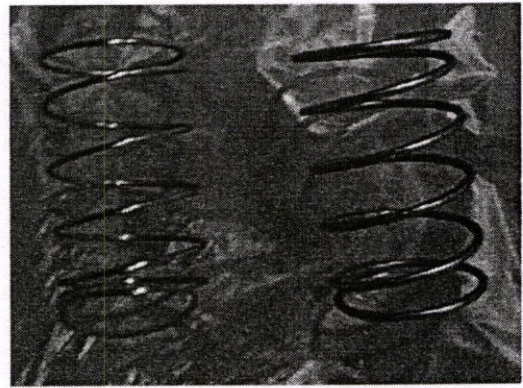
1. ตรวจสอบสภาพของสปริงภายในชุดเช็ควาล์วว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้และไม่ล้า พบว่าสปริงภายในชุดเช็ควาล์วเกิดการล้าจึงเปลี่ยนสปริงที่ชุดเช็ควาล์วทั้งหมด 8 ชุด เนื่องจากสปริงภายในชุดเช็ควาล์วมีโอกาสเสื่อมประสิทธิภาพได้ง่ายและเร็ว พนักงานจึงต้องหมั่นตรวจสอบสภาพ

ของสปริงอย่างน้อยตามระยะเวลาของกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง (autonomous maintenance) ของบริษัท

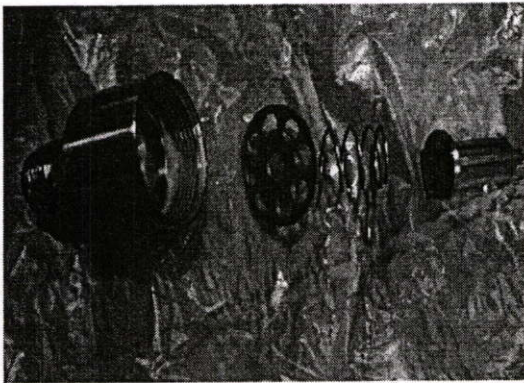
2. ตรวจสอบสภาพของชุดเช็ควาล์วของชุดกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ไม่สึก พบว่าสภาพของเช็ควาล์วที่บางหัวบรรจุสึกหกร่อนเนื่องจากการเสียดสีของเช็ควาล์วกับผนังภายในชุดเช็ควาล์ว ถ้าชุดเช็ควาล์วปิดไม่สนิท ครีมน้ำมันจะไหลลงบรรจุภัณฑ์เกินปริมาตรบรรจุที่ได้ตั้งระดับสเกลไว้ทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของน้ำหนักครีมน้ำมันที่บรรจุ ทีมงานได้เปลี่ยนเช็ควาล์วให้มีขนาดพอดีกับอุปกรณ์บรรจุ (casing) เช็ควาล์ว และได้ทดสอบการทำงานของชุดเช็ควาล์วโดยตรวจสอบการรั่วของน้ำจากชุดเช็ควาล์วดังรูปที่ ๓.2 ก่อนนำชุดเช็ควาล์วไปใช้ที่เครื่องบรรจุ



ก. เช็ควาล์ว



ข. สปริงอ่อนและแข็งภายในชุดเช็ควาล์ว



ค. ชุดเช็ควาล์ว



ง. การทดสอบการรั่วของชุดเช็ควาล์ว

รูปที่ ๓.2 สปริง อุปกรณ์ภายในชุดเช็ควาล์ว และการทดสอบการรั่วของชุดเช็ควาล์ว [1]

3. วัสดุขนาดของชุดกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และลูกสูบภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ และระยะภายในกระบอกสูบ

ผลิตภัณฑ์ คือ เมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุดและสูงสุด เพื่อกำหนดระยะชักภายในกระบอกสูบที่เท่ากันให้ได้ปริมาณการบรรจุผลิตภัณฑ์จากทั้ง 8 หัวบรรจุเท่ากัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ ฅ.2 และ ฅ.3

ตารางที่ ฅ.2 ขนาดของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และลูกสูบภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุต่างๆ [1]

หัวบรรจุที่	ขนาดของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ (มิลลิเมตร)		ขนาดของลูกสูบ (มิลลิเมตร)	
	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง	เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความสูง
1	70.50	27.07	69.40	37.60
2	70.30	27.05	69.40	37.60
3	70.10	27.07	69.40	37.45
4	70.00	27.04	69.40	37.35
5	70.10	27.08	69.40	37.40
6	70.30	27.04	68.75	37.45
7	70.30	26.80	69.35	37.50
8	70.00	27.07	69.40	37.60

ตารางที่ ฅ.3 ระยะภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์และระยะชักภายในกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุต่างๆ [1]

หัวบรรจุที่	ระยะภายในกระบอกสูบ (มิลลิเมตร)		ระยะชักภายในกระบอกสูบ (มิลลิเมตร)
	เมื่อลูกสูบอยู่ตำแหน่งต่ำสุด	เมื่อลูกสูบอยู่ตำแหน่งสูงสุด	
1	218.30	10.80	207.50
2	218.90	11.20	207.70
3	218.60	10.70	207.90
4	218.80	10.90	207.70
5	219.10	10.60	208.50
6	219.80	10.70	207.10
7	219.50	10.50	209.00
8	221.00	11.25	209.75

จากตารางที่ น.2 วัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ และลูกสูบเพราะมีผลต่อระยะชักของกระบอกสูบและปริมาตรการบรรจุผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าไม่ต่างกันมาก (ถ้าค่าต่างกันจะต้องลึงกระบอกสูบและลูกสูบ หรือเปลี่ยนกระบอกสูบ) และจากตารางที่ น.3 พบว่าระยะชักของกระบอกสูบผลิตภัณฑ์ที่หัวบรรจุต่างๆ มีขนาดต่างกัน จึงเลือกตั้งค่าระยะชักของกระบอกสูบเท่ากับ 209.75 มิลลิเมตร เพราะค่าอื่นๆ ไม่สามารถตั้งค่าได้ที่เครื่องบรรจุนี้เนื่องจากระยะสั้นเกินไป

4. เปลี่ยนวาล์ว 2 ทางที่หัวบรรจุเป็นวาล์วทางเดียวเพื่อควบคุมจังหวะการเปิดและปิดของทุกหัวบรรจุเท่ากันทั้ง 8 หัวบรรจุ

ภาคผนวก ช.

การคำนวณเงินที่ได้จากการลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์

เงินที่ได้จากการลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)

$$= \{ [\text{การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเงินก่อนการดำเนินงาน (\%)} - \text{การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเงินหลังการดำเนินงาน (\%)}] \times \text{ปริมาณการผลิต (ตัน/ปี)} \times \text{ราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (บาท/ตัน)} \} / 100$$

โดยที่

การสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการบรรจุเงิน (%)

$$= \left| \frac{\text{ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ (กรัม)} - \text{น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักขอบเขตควบคุมค่าขีดจำกัดบน (กรัม)}} \right| \times 100$$

ภาคผนวก ซ.

แผนควบคุมกระบวนการ

ตารางที่ ๒.2 ตัวอย่างแผนการตรวจสอบและบำรุงรักษากระบวนการ [4]

ชื่อกระบวนการ: Corniani		หน้า: _____ / _____
สิ่งที่พิจารณา: การบรรจุผลิตภัณฑ์		เอกสารเลขที่: _____
ที่ตั้งกระบวนการ: HPC-liquid		วันที่แก้ไข: _____
บริเวณที่ต้องควบคุม: สายการผลิต C2		เอกสารสนับสนุนการปฏิบัติงาน: _____

Six Sigma Preventative Maintenance Plan

จัดเตรียมโดย: _____
 ตรวจสอบโดย: _____
 ตรวจสอบโดย: _____
 ตรวจสอบโดย: _____

กระบวนการ	ลักษณะของข้อบกพร่อง	วิกฤติต่อคุณภาพ		ตัวบ่งชี้เชิงข้อบกพร่อง	ขอบเขตของตัวบ่งชี้	วิธีการวัด	ขนาดเชิงตัวอย่าง	ความถี่	ผู้วัด	บันทึกที่	วิธีแก้ไข	SOP อ้างอิง
		KPOV	KPIV									
การบรรจุผลิตภัณฑ์	การรั่วไหลของผลิตภัณฑ์เนื่องจากห่วงยางที่หวับบรรจุเสื่อมสภาพ	giveaway	ห่วงยางที่หวับบรรจุ	การเสื่อมสภาพของห่วงยาง	-	สังเกตด้วยสายตา	ทุกหวับบรรจุ	ตามระยะเวลาของกิจกรรมบำรุงรักษาด้วยตนเอง	พนักงานประจำเครื่องบรรจุ	สมุดบันทึกของพนักงาน	เปลี่ยนเมื่อพบว่าอุทกของเสื่อมสภาพ	
การบรรจุผลิตภัณฑ์	โพลีคาร์บอเนตทำงานผิดพลาด	giveaway	โพลีคาร์บอเนต	ค่าไบอัส	-	เปรียบเทียบกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งด้วยโพลีคาร์บอเนตกับการซึ่งด้วยเครื่องซึ่งน้ำหนักมาตรฐานนอกกระบวนการบรรจุ	ทุกโพลีคาร์บอเนต	ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดบรรจุ	พนักงานประจำเครื่องบรรจุ	สมุดบันทึกของพนักงาน	สอบเทียบโพลีคาร์บอเนต	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวมนัสวี ตูลาธร
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 13 มิถุนายน 2522
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วศ.บ. (เคมี)
สถานที่สำเร็จการศึกษา	ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2544

ประสบการณ์

1. ฝึกงานที่บริษัท โปรดัคส์ ดีเวลลอปเม้นท์ แมนูแฟกเจอร์ริง จำกัด
ระหว่างวันที่ 10 กันยายน – 28 ธันวาคม 2544
2. ขณะศึกษาต่อปริญญาโท ทำวิทยานิพนธ์ที่บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดีนجز จำกัด

ผลงานทางวิชาการ

1. Anchaleeporn W. Lothongkum, Manassawee Tuladhorn, Pichayane Tanprasert, and Wiwut Tanthapanichakoon. "Reduction of Weight-deviation of Dish-washing Liquid by Minitab Program." The 1st KMITL International Conference Integration of Science and Technology for Sustainable Development, Bangkok, Thailand. 25 – 26 August 2004.
2. Anchaleeporn W. Lothongkum, Manassawee Tuladhorn, Pichayane Tanprasert, and Wiwut Tanthapanichakoon. "Weight-deviation Reduction in Dish-washing Liquid Packaging Process: A Case Study in a Consumer Products Industry" The 10th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress, Kitakyushu, Japan. 17-21 October 2004.
3. Anchaleeporn W. Lothongkum, Manassawee Tuladhorn, and Wiwut Tanthapanichakoon. "Weight-deviation Reduction of Dish-washing Liquid and Liquid Soap in the Consumer Products Industry." **Industrial & Engineering Chemistry Research**, (submitted).